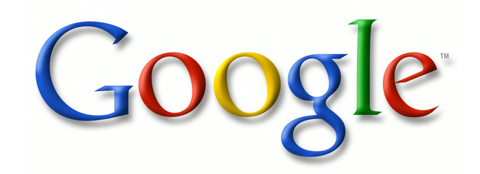










JULIUS PLÜCKERS

GESAMMELTE

WISSENSCHAFTLICHE ABHANDLUNGEN.

IM AUFTRAG DER KGL. GESELLSCHAFT DER WISSENSCHAFTEN
ZU GÖTTINGEN

HERAUSGEGEBEN

VON

A. SCHOENFLIES UND **FR. POCKELS.**

IN ZWEI BÄNDEN.

ZWEITER BAND.
PHYSIKALISCHE ABHANDLUNGEN.

LEIPZIG,
DRUCK UND VERLAG VON B. G. TEUBNER.
1896.

JULIUS PLÜCKERS
GESAMMELTE
PHYSIKALISCHE ABHANDLUNGEN.

HERAUSGEGEBEN

VON

FR. POCKELS.

MIT 78 IN DEN TEXT GEDRUCKTEN FIGUREN UND 9 TAFELN.

LEIPZIG,
DRUCK UND VERLAG VON B. G. TEUBNER.
1896.

In den vorliegenden Band sind sämmtliche Schriften physikalischen Inhalts von Plücker aufgenommen, mit Ausnahme einiger kurzer Mittheilungen in den Comptes Rendus und den British Association Reports, deren Wiedergabe neben den entsprechenden ausführlichen Abhandlungen überflüssig war, und zweier Artikel über Interferenzerscheinungen und conische Refraction in Moigno's Répertoire d'optique moderne, T. IV, p. 1314—1325, 1455—1461, 1850, die kein selbstständiges Interesse bieten; Plücker's Abhandlung über die Fresnel'sche Wellenfläche hat als wesentlich mathematisch in dem 1. Band ihre Stelle gefunden.

Die Arbeiten Plücker's bezogen sich in der ersten Zeit seiner physikalischen Thätigkeit vorwiegend auf das magnetische Verhalten der Krystalle, der Flüssigkeiten und Gase, später auf die bei elektrischen Entladungen durch Geissler'sche Röhren auftretenden Lichterscheinungen, namentlich ihre Beeinflussung durch Magnete und ihr Spectrum. Es schien daher angebracht, die auf diesen beiden Gebieten liegenden Arbeiten in zwei grosse Gruppen zusammenzufassen und erst innerhalb dieser Gruppen die zeitliche Folge maassgebend sein zu lassen. Die übrigen physikalischen Abhandlungen, die sehr verschiedene Gegenstände behandeln, sind dann in chronologischer Anordnung in einem dritten Abschnitt des Bandes zusammengestellt.

Wohl in Folge der Eile, mit welcher Plücker oft die Publication seiner physikalischen Arbeiten betrieb, sind dieselben nicht nur in der Form stellenweise wenig vollendet, sondern enthalten auch ziemlich zahlreiche sachliche Ungenauigkeiten. Wo die letzteren auf offenbaren Versehen beruhen, sind sie bei der Herausgabe berichtigt, eventuell mit einem Hinweis darauf unter dem Text, der dann, wie auch die vom Herausgeber hinzugefügten Citate, durch Einschliessung in eckige Klammern von Plücker's eigenen Anmerkungen unterschieden ist. Wo es sich aber um Irrthümer in theoretischen Ansätzen oder in der Auffassung handelt, wie namentlich in den magnetischen Arbeiten, in denen Plücker erst allmählig zur richtigen Deutung der compli-

cirten Erscheinungen durchdrang, konnte natürlich am Text nichts geändert werden, sondern es musste in Anmerkungen, die als Anhang gedruckt sind, und auf welche durch im Text angebrachte Zahlen hingewiesen wird, der Sachverhalt klar gestellt werden. Wie die, übrigens wenig zahlreichen, analytischen Entwicklungen Plücker's, so erwiesen sich auch seine numerischen Rechnungen bei der vom Herausgeber vorgenommenen Controlle vielfach als ungenau. In solchen Fällen mussten natürlich die Angaben der beobachteten Zahlen stets als richtig angenommen und demgemäss die „berechneten" corrigirt werden; doch sind, um eine spätere Controlle zu ermöglichen, die corrigirten Zahlen besonders bezeichnet, und in Fällen, wo die Abweichungen einen nennenswerthen Betrag erreichen, die Plücker'schen Zahlen in Klammern hinzugefügt.

Endlich sei bemerkt, dass die Figuren, soweit es thunlich war, in geeigneter Verkleinerung in den Text eingefügt sind. Die der grossen Abhandlung über Gasspectra beigegebene farbige Spectraltafel konnte durch das Entgegenkommen der Verlagsfirma auch farbig reproducirt werden.

Eine eingehende Würdigung der physikalischen Arbeiten Plücker's ist in der nachstehenden Darstellung von Herrn Prof. Riecke gegeben.

Göttingen, im October 1895.

F. Pockels.

Inhaltsverzeichniss.

II. Abhandlungen über elektrische Entladungen durch verdünnte Gase und Spectralanalyse.

III. Abhandlungen aus verschiedenen Gebieten.



Plücker's Physikalische Arbeiten

von

Eduard Riecke.

Plücker hatte, wie schon in der Gedächtnissrede von Clebsch erwähnt wird, bei seiner Berufung nach Bonn neben seinen mathematischen Vorlesungen auch physikalische übernommen; die hierdurch veranlasste Wandlung seiner wissenschaftlichen Interessen wurde zu einer bleibenden, als ihm nach einigen Jahren neben seiner mathematischen Professur auch die für Physik übertragen wurde. Aber noch bis zum Jahre 1846 beharrte seine productive Thätigkeit in den bis dahin verfolgten Bahnen; erst im Jahre 1847 beginnt die Reihe der physikalischen Abhandlungen, deren letzte dem Jahre 1865 angehört. Sobald aber Plücker dem neuen Gebiete sich zuwendet, erweist er sich auf ihm nicht minder fruchtbar als auf dem der Mathematik; er ist unermüdlich neue Versuche zu ersinnen, neue Stoffe dem Versuche zu unterwerfen, er entdeckt eine Reihe merkwürdiger und wichtiger Thatsachen und eröffnet der physikalischen Forschung neue Wege.

In seinen physikalischen Arbeiten erscheint Plücker als Autodidakt, geleitet höchstens durch das Vorbild Faraday's. Die insbesondere durch Gauss und Weber entwickelten Methoden genauer Maassbestimmungen bleiben ihm fremd und die Resultate seiner Arbeiten entbehren daher in vielen Fällen der Vergleichbarkeit und allgemeinen Giltigkeit. Auch den Mangel einer früheren Uebung in dem mechanischen Theile des Experimentirens vermochte Plücker nicht mehr auszugleichen; aber er verstand es, experimentelle Talente in seiner Umgebung heranzuziehen und ihre Geschicklichkeit der Ausführung und Entwicklung seiner Ideen dienstbar zu machen.

Ihre erste Anregung erhielt Plücker's physikalische Production durch Faraday's Entdeckung des Diamagnetismus, welche dieser im Jahre 1845 durch die Abhandlung: „*On new magnetic actions and on the magnetic condition of all matter*“ bekannt gemacht hatte. Auch

Wilhelm Weber ist hierdurch zu seiner Abhandlung über Diamagnetismus veranlasst worden, und es ist lehrreich, die Verschiedenheit der Richtungen zu betrachten, in denen die Entdeckungen Faraday's von den beiden deutschen Physikern weiter entwickelt wurden. Weber's Aufmerksamkeit ist der quantitiven Seite der Erscheinungen zugewandt. Die Kunst der exakten Messung und das Geschick in der Erfindung neuer Methoden der Beobachtung, die wir in all seinen Arbeiten bewundern, concentrirt er auf die vollständige Untersuchung der diamagnetischen Eigenschaften des Wismuths, auf den Nachweis, dass die diamagnetische Polarisation, einmal entstanden, in ihren Wirkungen mit der magnetischen vollkommen übereinstimmt; in dem ganzen Kreise der elektromagnetischen Erscheinungen ist ihm der Diamagnetismus bedeutend vor allem deshalb, weil aus ihm die Realität der elektrischen Molekularströme, die Richtigkeit der Ampère'schen Theorie des Magnetismus zu folgen scheint. Plücker steht den Entdeckungen Faraday's unbefangener gegenüber schon deshalb, weil er eben erst der Physik sich zuwendet; ihn interessirt die stoffliche Mannigfaltigkeit der Erscheinungen, ihn reizt es, mit dem Muthe des Entdeckers in das neue Gebiet einzudringen, seine Grenzen zu erweitern, seinen Inhalt zu vermehren. Er ist, so wenig er ihn an Tiefe der physikalischen Anschauungen und an Fülle der Entdeckungen erreicht, doch eine mit Faraday congeniale Natur; schon die äussere Form seiner Veröffentlichungen erinnert an die experimental researches; er liebt es, in der Weise Faraday's, seine Beobachtungen tagebuchartig in zahlreichen Paragraphen an einander zu reihen, seine Versuche unter immer veränderten Bedingungen, mit immer neuen Stoffen zu wiederholen.

Der erste Fund, mit dem Plücker im Jahre 1847 den Untersuchungen Faraday's über Magnetkrystallkraft zuvorkam, war die Entdeckung der besonderen Wirkung, welche *krystallinische Körper im Magnetfelde* erleiden. Plücker glaubte damit eine neue Beziehung zwischen Magnetismus und Licht gefunden zu haben, ein Seitenstück zu Faraday's Drehung der Polarisationsebene, seiner „Magnetisirung des Lichtes und Erleuchtung der magnetischen Kraftlinien." Unter dem Einfluss dieser Vorstellung gestaltete sich die weitere Entwicklung, so viele interessante Thatsachen sie im Einzelnen zu Tage förderte, doch zu einer langen Irrfahrt, deren Wendungen und Wandlungen Plücker selbst offen und unbefangen dargelegt hat. Nur allmählig tritt die vorgefasste Meinung, dass die optischen Axen der Krystalle eine wesentliche Rolle bei den beobachteten Erscheinungen spielen müssten, zurück, und erst 10 Jahre nach der Entdeckung wird aus der Vorstellung von einer ellipsoïdischen Form der Krystallmoleküle eine

den Thatsachen entsprechende Theorie der Erscheinungen entwickelt. Eine solche war schon im Jahre 1851 von William Thomson gegeben worden; aber Plücker war diese Arbeit Thomson's unbekannt geblieben, und er ist selbstständig und von anderem Standpunkte aus zu seiner Theorie gekommen, die mit der von Thomson im wesentlichen übereinstimmt.

Eine zweite Entdeckung machte Plücker auf dem Gebiete des Magnetismus, indem er zeigte, wie *ein und derselbe Körper*, je nach seiner Entfernung von den Magnetpolen, *magnetisch oder diamagnetisch* sich verhalten kann. Der Schluss aber, den er aus den Beobachtungen zog, dass die diamagnetische Kraft mit der Entfernung rascher abnehme, als die magnetische, trifft nicht das Wesen der Erscheinung. Man wird bedauern, dass Plücker die Poisson'sche Theorie der Magnetisirung bei der Ausführung seiner Untersuchungen nicht gekannt zu haben scheint. Er würde sonst bemerkt haben, dass das letzte Ziel der Beobachtung nicht die magnetischen Kräfte, sondern die Magnetisirungszahlen der verschiedenen Körper sind. Er würde den Einfluss, den die Körperform bei stärker magnetischen Stoffen auf den inducirten Magnetismus ausübt, mehr berücksichtigt, er würde von Anfang an erkannt haben, dass der beobachtete Wechsel des Verhaltens durch die Abhängigkeit der Magnetisirungszahlen von den erregenden Kräften erklärt wird.

Faraday hatte sich schon im Jahre 1845 mit dem *magnetischen Verhalten der Gase* beschäftigt, aber ohne zu entscheidenden Resultaten zu gelangen. Plücker erkannte beim ersten Durchlesen von Faraday's Beschreibung der Versuche, dass seine Anordnungen nicht die nöthige Empfindlichkeit besassen, und ging daran, die hier gelassene Lücke auszufüllen. Aber auch Faraday hatte sich weiter mit der Sache beschäftigt, und so kam es, dass derselbe Band der Poggendorff'schen Annalen Arbeiten der beiden Physiker brachte, welche, in den Methoden und Resultaten in der erfreulichsten Weise übereinstimmend, die Frage nach den magnetischen Eigenschaften der Gase wenigstens qualitativ entschieden. Sie enthalten unter anderem die Beschreibung des bekannten, auch von Zantedeschi schon kurz vorher ausgeführten Versuches, durch den der Diamagnetismus der Flamme bewiesen wird. Die überlegene Kunst Faraday's zeigt sich höchstens darin, dass er bei seinen Untersuchungen nicht bloss freie Gasstrahlen, wie die Flamme, sondern auch gaserfüllte Seifenblasen benützte; eine Idee, auf die auch Plücker gekommen war, die er aber in den Anfängen der Ausführung wieder verlassen hatte. Bei den *Flüssigkeiten* dagegen verdanken wir Plücker ein neues und elegantes Verfahren

zur Untersuchung ihres magnetischen Verhaltens; es ist die bekannte Beobachtung der Formveränderung, die ein Flüssigkeitstropfen erfährt, wenn er in einem Schälchen zwischen die Pole des Elektromagneten gebracht wird.

In den im Vorhergehenden besprochenen Arbeiten hatte Plücker die qualitative Seite des Diamagnetismus durch neue Entdeckungen, durch zahlreiche Einzelbeobachtungen bereichert. Er wandte sich aber auch als der erste der *quantitativen Durchforschung* des Gebietes zu; er bestimmte die Grösse der magnetischen Kräfte, die von seinem Elektromagnet auf eine grosse Zahl verschiedener Stoffe ausgeübt wurden; er knüpfte daran weitergehende Fragen nach dem Zusammenhang zwischen Magnetismus und chemischer Constitution, die später insbesondere von G. Wiedemann gefördert wurden. Bemerkenswerth ist, dass Plücker die Hebelwaage als Magnetometer benutzt, er dürfte der erste gewesen sein, der sie zur Ausführung genauer magnetischer Messungen gebraucht hat. Bei schwach magnetischen oder diamagnetischen Stoffen geben die von Plücker gefundenen Zahlen das Verhältniss der Susceptibilitäten. Bei den paramagnetischen Stoffen hat er selbst als Normalsubstanz das Eisen benutzt und die magnetischen Kräfte, die auf die untersuchten Substanzen ausgeübt wurden, verglichen mit den auf ein gleiches Gewicht fein zertheilten Eisens wirkenden. Die Bedeutung der so erhaltenen Zahlen ist unsicher, weil Plücker die absolute Intensität seines magnetischen Feldes nicht gemessen hat. Ausserdem beziehen sich die Beobachtungen nicht auf Eisentheilchen von bestimmter einfacher Gestalt, und die Formeln der Poisson'schen Theorie können daher zu ihrer Berechnung nicht benutzt werden. Einen Beweis für die Empfindlichkeit, welche Plücker seiner magnetischen Waage zu geben vermochte, liefert die von ihm ausgeführte Messung der magnetischen Induction in Sauerstoffgas. Eine Reduction der Beobachtungen auf absolutes Maass ist aus dem eben erwähnten Grunde nicht möglich; man kann nur sagen, dass die Grössenordnung der von ihm beobachteten Wirkung den Werthen entspricht, die sich aus neueren Messungen für die Susceptibilität des Sauerstoffs ergeben haben.

Wir wenden uns nun zu einer Gruppe von Arbeiten, in denen Plücker, unbeeinflusst und ungestört durch andere, ein neues Gebiet von hohem Interesse erschlossen hat, mit dessen Erforschung wir noch lange nicht am Ende sind: es ist das *Gebiet der elektrischen Entladungen in verdünnten Gasen.* Die hierher gehörenden Arbeiten Plücker's dürfen um so mehr hervorgehoben werden, als sie nicht immer die ihnen gebührende Anerkennung gefunden haben.

Vor allem hat er in die Untersuchung ein Hülfsmittel eingeführt,

das seither von jedem Experimentator benutzt wird und das einen der gewöhnlichsten Bestandtheile unseres Vorlesungs- und Laboratoriumsapparates bildet: die *Geissler'sche Röhre.* Denn von Plücker rührt die Idee her, den elektrischen Strom durch Röhren, die mit verdünnten Gasen gefüllt sind, mittelst eingeschmolzener Platinelektroden zu führen; er gab zuerst dem mittleren Theil der Röhre die kapillare Form, um so das schwache elektrische Licht zu concentriren und zur spectralen Untersuchung geeignet zu machen. Plücker selbst nannte die Röhren Geissler'sche, um dadurch dem bewundernswerthen Geschick des erfindungsreichen Künstlers zu huldigen, dessen Mitarbeit für den Erfolg von unschätzbarer Bedeutung war.

Die erste Verwendung fand das neu geschaffene Hülfsmittel bei der *Beobachtung des Einflusses, den der Magnet auf die Entladung ausübt.* Plücker hat diese Erscheinungen in der mannigfachsten Weise untersucht, mit sichtlicher Freude an dem wechselnden Spiele der Formen und Farben. Auf einem bis dahin unbekannten Gebiete gelang es ihm, zu den einfachen Gesetzen vorzudringen, durch welche die anscheinend so complicirten Erscheinungen beherrscht werden. Er fand, dass die positive Entladung einer magnetischen Curve folgt, sobald ihr Anfangs- und Endpunkt auf einer solchen liegen; er bestimmte die Bahn des positiven Lichtes, wenn es von den elektromagnetischen Kräften gegen die Oberfläche des Glases getrieben wird; er entdeckte die Spiralen des frei von der positiven Elektrode ausströmenden Lichtes und erklärte sie durch die gleichzeitige Wirkung der elektrischen und magnetischen Kräfte auf eine convective Strömung. Er untersuchte ebenso die Eigenschaften des negativen Glimmlichtes und zeigte, dass dieses unter allen Umständen unbekümmert um die Lage der positiven Elektrode und die Stromrichtung im Elektromagneten in eine von Magnetkraftlinien gebildete Fläche sich ausbreitet. Plücker hat ausserdem die durch Kathodenstrahlen erregte Fluorescenz, die Schattenbildung von Metalldrähten gesehen; die Existenz der Kathodenstrahlen selbst aber blieb ihm verborgen. Ihre Entdeckung durch Hittorf und Crookes mit den weiteren daran sich knüpfenden Untersuchungen bezeichnen den Punkt, in dem wir einen wesentlichen Fortschritt über Plücker's Arbeiten hinaus gemacht haben.

Nicht minder bedeutend sind die gleichfalls an die Gasentladungen sich knüpfenden Arbeiten, durch welche Plücker sich eine Stelle unter den Begründern der *Spectralanalyse* gesichert hat. Schon im Jahre 1858 konnte er den Satz aussprechen, dass die in den Geissler'schen Röhren leuchtenden Gase Linienspectren besitzen, und dass jedem Gas sein charakteristisches Spectrum zukommt, so dass durch das Spec-

trum die Art des in der Röhre befindlichen Gases unzweifelhaft bestimmt ist. Im Jahre 1859 findet er, dass die Wasserstofflinie H_β mit der Fraunhofer'schen Linie F zusammenfällt; die Coincidenz von H_α mit C, von H_γ mit G scheint ihm keine vollkommene zu sein; bei der ersteren beruht dies auf einem Fehler der Beobachtungen, bei der letzteren liegt in der That keine Coincidenz vor. Ihre Erklärung fand jene Thatsache durch die von Kirchhoff im selben Jahre entdeckte Umkehr der Linien des Na und Li und die daran geknüpfte Theorie vom Zusammenhange der Emission und Absorption. Damit war über ein grosses Gebiet von Erscheinungen mit einem Schlage das hellste Licht verbreitet, und die einfachen Methoden, mit deren Hülfe Bunsen und Kirchhoff ihre Metallspectren untersucht hatten, eröffneten zugleich der Chemie ein neues Feld, auf dem nun eine reiche Ernte einzubringen war. Man wird es daher begreifen, dass Plücker's Arbeiten durch die glänzenderen Leistungen von Kirchhoff und Bunsen zunächst in den Hintergrund gedrängt wurden. Die durch Plücker begründete Methode der Beobachtung bietet aber den überaus wichtigen Vortheil, dass die Umstände, unter denen die in Geissler'schen Röhren eingeschlossenen Gase leuchten, mannigfach verändert und durch gemessene Werthe festgelegt werden können. Plücker selbst entdeckte so, in einer gemeinsam mit Hittorf unternommenen Arbeit, die *mehrfachen Spectren* eines und desselben Gases, welche später insbesondere von Wüllner weiter untersucht worden sind.

Den grossen, zusammenhängenden Arbeiten, mit denen wir uns im Vorhergehenden beschäftigt haben, schliesst sich noch eine ziemliche Zahl vereinzelter Abhandlungen an, über die wir noch kurz berichten wollen.

Die Untersuchung über die *Abhängigkeit des Magnetismus und Diamagnetismus von der Temperatur* ist bemerkenswerth, weil sie für Ni und Bi eine Bestimmung der Temperaturen enthält, bei denen die Susceptibilität eine plötzliche, starke Verminderung erleidet. Plücker's Arbeit erscheint hierdurch als ein Vorläufer der interessanten Untersuchungen, die sich später an diese sogenannte kritische Temperatur geknüpft haben.

Plücker hatte die Absicht, seine magnetische Waage zu einer genaueren Erforschung des *remanenten Magnetismus* zu verwerthen. Die hierauf bezügliche Untersuchung ist nicht über ihre Anfänge hinaus gediehen; sie enthält eine Reihe von Messungen über magnetische Induction in Eisen und Stahl. Ihr Werth ist aber nur ein qualitativer, da die Versuchsbedingungen zu complicirt sind, und eine Reduction auf allgemeines Maass nicht möglich ist.

Auf dem Gebiete der Magnetinduction spielen die *magnetoelektrischen Rotationen*, insbesondere die sogenannte unipolare Induction eine eigenthümliche Rolle. Wenn man von der Annahme der magnetischen Fluida oder von der Existenz physischer Kraftlinien ausgeht, so kommt man zu einer anderen Anschauung vom Sitz der elektromotorischen Kräfte, als wenn man die Erscheinungen als eine Umkehr der elektromagnetischen Rotationen, als eine mit diesen durch das Energieprincip verbundene Wirkung betrachtet; man hat daher von jeher versucht, die unipolare Induction zu einer Entscheidung zwischen den verschiedenen Theorieen zu benützen. Wie beinahe auf dem ganzen Gebiet der Magnetinduction, so verdanken wir auch hier Faraday die ersten Beobachtungen, Weber die ersten Messungen. Plücker's Beitrag zu der Lehre von den magnetoelektrischen Rotationen ist im Wesentlichen ein experimenteller; er ersinnt eine grosse Zahl neuer und eigenthümlicher Versuchsanordnungen, bei denen die wirkenden Elemente in der mannigfachsten Weise combinirt werden. Plücker hatte die Absicht, die Erscheinung der unipolaren Induction auch theoretisch zu behandeln; er hat aber nur ein paar vorbereitende Sätze gegeben, die bekannten Sätze über die Wirkung eines in geschlossener Bahn einen in sich zurücklaufenden Leitungsdraht umkreisenden Poles.

Die Apparate, welche Plücker bei der im Vorhergehenden erwähnten Arbeit benutzt hatte, waren nach seinen Angaben von seinem früheren Schüler, dem Mechaniker Fessel, construirt worden. Die Verbindung mit Fessel hat noch zu ein paar anderen Aufsätzen Plücker's Veranlassung gegeben, von denen der über das Fessel'sche Gyroskop genannt werden möge.

Wir haben schon darauf hingewiesen, wie wichtig es für Plücker's Arbeiten über Gasentladungen ist, dass er in Geissler den Künstler von lebendigem wissenschaftlichem Interesse fand, der seinen Ideen Gestalt geben konnte, der selbst denkend und forschend an der Ausbildung der Methoden, an der Entdeckung neuer Erscheinungen Antheil nahm. Durch seine Beziehung zu Geissler wurde Plücker auch zu einigen Arbeiten auf dem Gebiete der messenden Physik veranlasst, die ihm im Allgemeinen ferne lag. In den gemeinsam mit Geissler unternommenen *„Studien über Thermometrie“* wird ein sinnreiches Verfahren beschrieben, die Volumausdehnung eines Dilatometers zu compensiren. Von den Bestimmungen, die mit einem so eingerichteten Instrument ausgeführt wurden, mögen zwei hervorgehoben werden. Die eine bezieht sich auf die Volumvermehrung des Wassers beim Gefrieren; aus den Beobachtungen ergiebt sich für das specifische Gewicht des Eises bei 0° der Werth 0,9157, der nur wenig abweicht von dem

Werth 0,9168, den Bunsen als richtig angenommen hat. Die zweite Bestimmung betrifft die Volumausdehnung des Eises durch die Wärme; für den Ausdehnungscoëfficienten ergiebt sich: 0,0001585. In einer zweiten hierher gehörenden Abhandlung bestimmt Plücker die *Dampfspannungen von Flüssigkeitsgemengen*, insbesondere von Alkohol und Wasser. Seine Zahlen stimmen nicht ganz mit den später von Konowalow gefundenen, der Verlauf der Spannungscurve ist aber derselbe, wie bei dem letzteren Forscher.

Mit Bezug auf weitere Einzelheiten verweisen wir auf die zahlreichen Anmerkungen, durch die Herr Pockels die Abhandlungen Plückers erläutert und, wo es nöthig erschien, berichtigt hat.

Von den physikalischen Arbeiten Plücker's ist eine so tiefe und vielseitige Wirkung nicht ausgegangen, wie von seinen mathematischen. Immer aber werden sie in der Entwicklung der Wissenschaft eine bedeutende und dauernde Stelle einnehmen, und das Bild seiner wissenschaftlichen Persönlichkeit würde ohne sie ein sehr unvollständiges bleiben. In einer Zeit, in der die messende und mathematische Richtung der Physik in Deutschland in Wilhelm Weber und Franz Neumann zwei Vertreter vom ersten Rang gefunden hatte, ist es Plücker, der, von Beobachtung zu Beobachtung eilend, das Feld der Erscheinungen in der Weise Faraday's zu erweitern sucht. In welchem Umfange ihm dies gelungen, davon legen seine Werke ein bleibendes Zeugniss ab.

I.

ABHANDLUNGEN AUS DEM GEBIETE

DES

MAGNETISMUS.

1.

Rapport entre les propriétés optiques et les propriétés magnétiques de certains cristaux.

(Lettre de M. Plücker à M. Arago. Comptes Rendus 24, S. 1107—1109. 1847).

En répétant les expériences de M. Faraday sur l'état magnétique et diamagnétique des corps, je suis parvenu, de mon coté, à beaucoup de résultats nouveaux. Je prends la liberté de vous communiquer quelques-unes de mes expériences, en choisissant celles, qui, montrant des rapports entre la direction des axes optiques des cristaux et celle des courants électriques, établissent un rapprochement entre la lumière et le magnétisme.

I. Si l'on suspend une plaque de tourmaline, telle que M. Soleil en fournit pour les appareils de polarisation, à un fil de cocon entre les deux pôles d'un électro-aimant, on observera les faits suivants:

1°. Si le fil de cocon coïncide avec l'axe du cristal, celui-ci se placera comme le ferait une masse de fer de même forme, c'est-à-dire de manière que la plus grande dimension coïncide avec la ligne qui joint les deux pôles de l'aimant.

2°. Si le fil de cocon est perpendiculaire à l'axe du cristal (ce qui répond à un double mode de suspension), la force magnétique, provenant du fer contenu dans la substance, sera surmontée, et le cristal prendra une position telle que son axe soit perpendiculaire à la ligne des pôles.

II. Si l'on suspend un cristal naturel de tourmaline d'une certaine longueur (j'en ai pris un, entre autres, qui sur 40 millimètres de longueur avait une épaisseur de 4 millimètres) de manière qu'il puisse osciller librement entre les deux pôles rapprochés autant que possible, il se placera, avec sa longueur, dans la ligne des pôles. Mais si l'on éloigne les pôles, ou bien si l'on allonge ou raccourcit le fil de suspension, de sorte que le cristal oscille dans un plan horizontal qui

s'éloigne de la ligne joignant les deux pôles de l'aimant, la tourmaline fera un quart de révolution, de manière que, dans la position nouvelle, son axe devienne perpendiculaire à la ligne des pôles. Il y a une distance intermédiaire où la tourmaline n'est pas affectée par l'aimant.

III. Le spath d'Islande est un corps diamagnétique, repoussé par chacun des deux pôles de l'aimant. Si l'on en taille une plaque, perpendiculaire à l'axe, comme pour les expériences d'optique, et qu'on la suspende entre les deux pôles, elle s'y placera, comme tout corps diamagnétique, de manière que sa plus petite dimension, c'est-à-dire son axe, coïncide avec la ligne des pôles. En éloignant le plan d'oscillation de la ligne des pôles, la plaque, surmontant la force diamagnétique de la matière, se placera perpendiculairement à la ligne des pôles. A une certaine distance la plaque est indifférente.

IV. J'ai pris une topaze de Brésil taillée de sorte que deux de ses faces sont perpendiculaires à l'un de ses axes, et deux autres faces à l'autre axe; voici ce que j'ai observé.

1°. En la suspendant entre les deux pôles de l'aimant, de manière à ce qu'elle puisse tourner librement autour d'une ligne quelconque, située dans le plan des deux axes, la topaze se place de telle sorte que ce plan devient perpendiculaire à la ligne des pôles.

2°. Si, au contraire, le fil de suspension est perpendiculaire au plan des deux axes, la topaze se place de manière que la ligne intermédiaire entre les deux axes est perpendiculaire à la ligne des pôles.

V. Une feuille de mica oscillant horizontalement se placera comme la topaze dans la première expérience.

Dans les dernières expériences IV, 1°, 2° et V, la topaze et le mica ont dû vaincre respectivement les forces diamagnétique et magnétique de la matière.

J'ai conclu des expériences précédentes et d'un grand nombre d'autres la loi suivante:

Si l'on porte un cristal quelconque à un seul axe entre les deux pôles d'un aimant, l'axe du cristal est repoussé par les pôles. Si le cristal est à deux axes, la répulsion a lieu, avec la même force, sur chacun des deux axes.

La force nouvelle émanant des pôles est indépendante de l'état magnétique ou diamagnétique des cristaux. D'après la forme extérieure de ces cristaux, la force magnétique ou diamagnetique augmente ou diminue la force nouvelle exercée sur les axes. Cette dernière force l'a emporté sur les autres dans tous les cristaux que j'ai examinés, du moins après l'éloignement des pôles. J'en conclus que *la force nou-*

velle diminue moins vite, quand la distance change, que les forces magnétique et diamagnétique.

J'ai opéré sur des cristaux de poids très-différents, les uns d'une fraction de gramme seulement, les autres de plusieurs centaines de grammes; la loi empirique s'est confirmée partout. J'ai examiné un grand nombre de cristaux, surtout à un seul axe optique, et j'en ai trouvé seulement trois dont le magnétisme ne permettait pas la manifestation de l'action de l'électro-aimant sur l'axe, et encore ces cristaux possédaient-ils, tous les trois, une *polarité* magnétique permanente.

J'ai fait toutes mes expériences avec un grand électro-aimant en me servant de 3 ou 4 petits éléments de Grove. Quant aux premières expériences, on réussit très-bien avec un seul élément. M. Vom Kolke, qui m'a assisté avec habileté dans mes expériences, vient même, sur ma demande, de les répéter avec un aimant ordinaire. —

2.

Ueber die Abstossung der optischen Axen der Krystalle durch die Pole der Magnete.

(Poggendorff's Annalen der Physik und Chemie. Bd. 72, S. 315—343. 1847).

1) In der gegenwärtigen Abhandlung beabsichtige ich eine Reihe neuer Beobachtungen mitzutheilen, die sich an die neuesten Entdeckungen des Herrn Faraday anschliessen und durch diese hervorgerufen worden sind, Beobachtungen, die, wenn wir sie in einen allgemeinen Ausdruck zusammenfassen, zu dem folgenden empirischen Gesetze führen.

Wenn man einen beliebigen Krystall mit einer einzigen optischen Axe zwischen die beiden Pole eines Magneten bringt, so wird diese Axe von jedem der beiden Pole abgestossen. Wenn der Krystall zwei optische Axen hat, so wird jede dieser beiden Axen von jedem der beiden Pole mit derselben Kraft abgestossen.

Die Kraft, welche diese Abstossung hervorbringt, ist unabhängig von der magnetischen oder diamagnetischen Beschaffenheit der Masse des Krystalls; sie nimmt mit der Entfernung von den Magnetpolen langsamer ab, als die von diesen Polen aus auf den Krystall wirkenden magnetischen oder diamagnetischen Kräfte. [1])

2) Um den Ueberblick und die Beurtheilung meiner Beobachtungen und der daraus gezogenen Folgerungen möglichst zu erleichtern, erscheint es mir am angemessensten, für die Darstellung ganz denselben Weg einzuschlagen, der mich selbst zu den vorstehenden Resultaten geführt hat. Zuvor aber wird es unerlässlich sein, über die Art und Weise, wie ich meine Versuche angestellt habe, mit kurzen Worten zu berichten.

Zunächst in der Absicht, die Faraday'schen Versuche über Magnetismus und Diamagnetismus, sowie über die Drehung der Polarisationsebene des Lichtes durch magnetische Einwirkung zu wiederholen, liess ich unter meinen Augen durch den Universitäts-Mechaniker, Herrn Etter, einen starken Elektromagneten construiren, und um sicher wenig-

stens die gleiche Wirkung zu erhalten, wählte ich dabei für den Eisenkern dieselben Dimensionen, die Herr Faraday für seinen grossen Hufeisenmagneten angiebt, nur dass ich das englische Fussmaass mit dem Pariser vertauschte.*) Die Flächen der Polenden sind demnach Kreise, deren Durchmesser 102 ^{mm} ($3^3/_4$ Par. Zoll) betragen, und deren Mittelpunkte 284 ^{mm} ($9^3/_4$ Par. Zoll) von einander abstehen. Der Eisenkern wiegt 84 Kilogramm, und jeder seiner beiden senkrecht stehenden Schenkel ist mit vier Lagen von Kupferdraht umwickelt, deren jede aus 92 Windungen besteht. Dieser Draht ist 4,36 ^{mm} dick (2 rhein. Linien, während der Draht des Faraday'schen Magneten 0,17 engl. Zoll beträgt), indem ich aus theoretischen Gründen die grösste Drahtdicke wählte, bei welcher der gut ausgeglühte und umsponnene Draht sich noch leicht genug handhaben lässt. Das Gewicht des Drahtes beträgt ungefähr 35 Kilogramm. Die Drahtumwicklung erstreckt sich bis zu den Polflächen; auf jede von diesen ist ein Aufsatz von weichem Eisen, der denselben Querdurchschnitt hat und 48 ^{mm} hoch ist, aufgeschliffen. Die beiden Aufsätze sind in der Mitte ihrer Höhe durchbohrt, und in die Durchbohrungen, die 20 ^{mm} im Durchmesser haben, werden zwei darin passende, verschiebbare, an einem ihrer Enden konisch zugespitzte Cylinder von weichem Eisen eingesteckt und durch Schrauben festgehalten. Die konischen Zuspitzungen, in welchen die magnetische Wirkung sich concentrirt, können beliebig einander genähert und von einander entfernt und auch mit den Aufsätzen und ohne dieselben fortgenommen werden. Eine Tischplatte, die höher und tiefer gestellt werden kann und mit zwei runden Oeffnungen versehen ist, durch welche die Schenkel des Elektromagneten hindurchgehen, trägt einen Glaskasten mit der Coulomb'schen Drehwaage. Auf der Welle dieser letzteren wickelt sich ein starker Faden, der aus einer grösseren Anzahl nebeneinander liegender einzelner Coconfäden besteht, auf und ab, und an diesem können schwerere Massen bis zu einem halben Kilogramm und mehr unmittelbar aufgehängt werden, etwa in einem leichten Schiffchen an einem kleinen Haken. Was die Aufhängung leichter Körper betrifft, so habe ich ein solches Schiffchen, in welches derselbe gelegt wird, bei meinen magnetischen und diamagnetischen Versuchen gleich von Anfang verwerfen zu müssen geglaubt, weil ich keine Materie fand, die sich nicht zwischen den beiden Polen meines Elektromagneten magnetisch oder diamagnetisch einstellte. Ich hänge jeden solchen leichten Körper unmittelbar in eine doppelte Schleife eines einzelnen oder doppelten Coconfadens, der

*) [Siehe die Hauptfigur auf Tafel I; ausführliche Beschreibung dazu in Abhandlung 15].

eine Länge von 60 bis 300 mm hat und mit etwas Wachs an dem freien Ende des dickeren, über die Welle der Drehwaage gehenden Fadens befestigt wird. Am besten macht man die Aufhängungen in dem Glaskasten selbst, weil da der einzelne Coconfaden leichter zu sehen ist, und bei einiger Uebung gelangt man leicht dahin, in einer Stunde in derselben Schleife eines solchen Coconfadens 20—30 verschiedene Aufhängungen zu machen. Zugleich ist man auf diesem Wege im Stande, Körper, die nicht grösser und schwerer sind als etwa ein einzelner Staubfaden einer Kirschblüthe, auf Magnetismus und Diamagnetismus zu prüfen.

Um den Magnetismus im Elektromagnet hervorzurufen, habe ich mich bei allen in dem Nachstehenden angeführten Versuchen bloss drei oder vier kleiner Grove'scher Elemente bedient und diese als Kette verbunden. Das Platin tauchte in käufliche concentrirte Salpetersäure, das Zink in eine Mischung von 1 Theil concentrirter Schwefelsäure und 9 Theilen Wasser.

3) Im Laufe des Monats Mai hatte ich eine grosse Menge von Versuchen angestellt, die das allgemeine Resultat zu liefern scheinen, dass in jedem Pflanzen- (und vielleicht auch Thier-) Individuum constante magnetische und diamagnetische Gegensätze sich zeigen, die mit der physiologischen Entwicklung desselben zusammenhängen. Das Nähere behalte ich einer späteren Mittheilung vor, und bemerke nur, dass diese Versuche mich dahin führten, zu untersuchen, ob auf die Stellung der zwischen den beiden Magnetpolen aufgehängten Pflanzentheile die Faserrichtung Einfluss habe, und hierbei trat mir beiläufig die Frage entgegen, ob, wenn in gleicher Weise ein Krystall aufgehängt wird, dessen krystallographische Structur von Einfluss sei. Gleich der erste Versuch gab eine entscheidende Antwort.

4) Ich nahm nämlich eine grüne Turmalinplatte, wie sie Herr Soleil zur Polarisation des Lichtes liefert. Die Dicke der Platte beträgt 3 mm, ihre grösseren Begrenzungsflächen bilden annäherungsweise ein Rechteck, 12 mm lang und 9 mm breit. Die Längenrichtung der Platte fällt mit der Richtung ihrer optischen Axe zusammen. Wenn diese Platte an einem Coconfaden so aufgehängt wurde, *dass die Richtung des Fadens mit der Richtung der optischen Axe zusammenfiel*, so stellte sie sich, wie es jeder magnetische Körper von gleicher Form gethan haben würde, in der Weise, dass ihre Breitenrichtung mit derjenigen geraden Linie, welche die beiden Polspitzen verbindet, zusammenfiel, und die Platte behauptete diese Stellung entschieden auch dann noch, nachdem die Polspitzen fortgenommen worden waren. Dieses Resultat hatte ich erwartet, weil die Turmalinplatte so stark magnetisch war,

dass sie, in der unmittelbaren Nähe einer Polspitze aufgehängt, von dieser angezogen wurde.

5) Dieselbe Turmalinplatte wurde nun so aufgehängt, dass ihre Breitenrichtung mit der Richtung des Coconfadens zusammenfiel, *und die optische Axe also in der Horizontalebene frei schwingen konnte.* Die Polspitzen waren einander nicht zu nahe und wurden zuletzt ganz fortgenommen. Als magnetischer Körper hätte sich die Platte so stellen müssen, dass ihre Längen- und Axenrichtung mit der Linie der Polspitzen zusammenfiele. Sie stellte sich aber so, wie ein diamagnetischer Körper von gleicher Form gethan haben würde, nämlich mit ihrer Längen- und Axenrichtung *senkrecht gegen die Linie der Polspitzen.*

6) Dieselbe Turmalinplatte wurde endlich auch noch so aufgehängt, dass sie selbst, und mithin auch ihre optische Axe horizontal schwingen konnte. Sie nahm wiederum mit Entschiedenheit, wie bei der zweiten Aufhängung, diejenige Lage ein, die ein diamagnetischer Körper von gleicher Form eingenommen haben würde; ihre Breitenrichtung stellte sich in die Linie der Polspitzen, ihre Längen- und Axenrichtung *senkrecht gegen dieselbe.*

7) Durch Oeffnen und Schliessen der Kette konnte man bei jeder der drei Aufhängungen den Turmalin herumwerfen und in der gerade entgegengesetzten Lage festhalten.

8) Wenn wir annehmen, dass von jedem der beiden Pole des Elektromagneten aus eine gleiche Abstossung auf die Axenrichtung der Turmalinplatte stattfindet, und dass diese Abstossung stärker ist als die Anziehung, die von denselben Polen aus in Folge der magnetischen Vertheilung in der eisenhaltigen Turmalinmasse auf dieselbe Axe ausgeübt wird, so erhalten wir einen allgemeinen Gesichtspunkt, unter welchem wir die beschriebenen Erscheinungen auffassen können.[1])

Da bei der Stellung, welche die Turmalinplatte in den Versuchen der 5. und 6. Nummer annimmt, durch die neue, die Abstossung hervorbringende Kraft die magnetische Anziehung der Materie zuvor überwunden werden muss, so war vorauszusehen, dass die fraglichen Erscheinungen sich modificiren würden, wenn die magnetische Richtkraft dadurch wächst, dass der Krystall eine solche Form hat, wobei die Dimension desselben nach der Axenrichtung gegen seine anderen Dimensionen sehr überwiegend ist, und dass die beiden Polspitzen einander möglichst genähert werden. Nachdem ich mich daher nochmals von der Richtigkeit der früheren Versuche überzeugt und dieselben durch eine zweite Turmalinplatte von ähnlichen Dimensionen bestätigt gefunden hatte, wählte ich einen dunkelbraunen, fast undurchsichtigen Turmalinkrystall in der Form einer sechsseitigen Säule, die ungefähr 36 ^{mm} lang

und 4,5 mm dick war, und brachte die Polspitzen einander so nahe, dass er eben noch frei dazwischen schwingen konnte. Der Turmalin stellte sich, der magnetischen Anziehung folgend, so, dass die Axe der Säule, die auch seine optische Axe ist, mit der Linie der Polspitzen zusammenfiel. Je weiter man die Polspitzen von einander entfernte, mit desto geringerer Kraft richtete sich der Krystall, und wenn die Entfernung derselben mehr als 80 mm betrug, so drehte er sich um 90°, als wenn er diamagnetisch geworden wäre, so dass nun seine Axe gegen die Linie der Polspitzen senkrecht stand. Bei grösserer Entfernung der Polspitzen nahm die Kraft zu, welche ihn in der beschriebenen Lage festhielt, in welcher er auch dann noch entschieden beharrte, nachdem die Polspitzen ganz fortgenommen worden waren.

Die Spitzen wurden wieder eingesteckt und so weit vorgeschoben, dass der Turmalin sich axial (in die Linie der Spitzen) stellte. Wenn man ihn dann, durch Auf- oder Abwicklung des Fadens, an welchem er aufgehängt war, hob oder senkte, so drehte er sich bei einer gewissen Hebung oder Senkung um 90°, indem er sich äquatorial (senkrecht gegen die Linie der Polspitzen) stellte. Bis zu der Grenzlage, wo diese Drehung stattfand, nahm die axiale Richtkraft bis zum Verschwinden ab, wo dann die äquatoriale Richtkraft hervortrat, bei einer grösseren Hebung oder Senkung sich steigerte, dann wieder abnahm, aber noch in einer Entfernung von 200—250 mm von der Linie der Polspitzen deutlich sich zeigte.

Auch hier konnte man bei allen beschriebenen Versuchen durch Oeffnen und Schliessen der Kette den Turmalin um 180° herumwerfen und in der entgegengesetzten Lage festhalten.

9) Der Uebergang von einer Stellung des Turmalins in die andere schien auch dann noch ganz an derselben Stelle zu erfolgen, nachdem die Kraft des Elektromagneten verstärkt oder geschwächt wurde.

10) Wenn wir die Hypothese einer abstossenden Wirkung der Magnetpole auf die Axenrichtung beibehalten, so müssen wir nach den Versuchen, über welche in den vorigen beiden Nummern berichtet worden ist, nothwendig annehmen, dass die Kraft, welche diese Abstossung hervorbringt, *langsamer mit der grösseren Entfernung abnimmt*, als die von denselben Polen ausgehende Kraft der magnetischen Anziehung. [1])

11) Bevor ich noch andere Krystalle in gleicher Weise wie den Turmalin untersuchte, schien es mir angemessen, bei diesem Mineral, das die beschriebenen, mich überraschenden Erscheinungen zuerst zeigte, diese Erscheinungen mit ihren Modificationen möglichst vollständig zu untersuchen. Zwei andere Turmalinkrystalle, demjenigen, der zu dem

Versuche der 7. Nummer gedient hatte, ähnlich, nur schwerer, der eine 47 ^{mm} lang und etwa 3 ^{mm} dick, der andere bei gleicher Länge etwa 5 ^{mm} dick, zeigten im Allgemeinen ganz dasselbe. Alle diese Turmaline wurden in der unmittelbaren Nähe eines Magnetpols mit ihrer ganzen Masse angezogen.

12) Ein Rubellit, 9 ^{mm} lang und 6—7 ^{mm} dick, stellte sich, wenn die Polspitzen 13 ^{mm} von einander entfernt waren, in der Linie der Spitzen axial, drehte sich aber nach einer Hebung von 20 ^{mm} oder einer Senkung von ungefähr 30 ^{mm} um 90°, indem er sich äquatorial stellte.

Ein roth durchscheinender Turmalin, 30 ^{mm} lang, verhielt sich entsprechend. Dann untersuchte ich vier kleinere Turmalinkrystalle von der Insel Elba, 4—9 ^{mm} lang, einer halb hell- und einer halb dunkelgrün, ein zweiter ganz hellgrün, ein dritter in der Mitte hell-, an beiden Enden dunkelgrün, und der vierte roth. Alle waren, wie auch die beiden früheren, stark magnetisch, der erste an dem dunkelgrünen Ende stärker als an dem hellgrünen. Sie gaben sämmtlich die in der 7. Nummer beschriebenen Erscheinungen, nur dass der dritte und kleinste durchaus nicht in die axiale Lage gebracht werden konnte, weil er, wenn man die Polspitzen in dieser Absicht näher rückte, bevor er in diese Lage gelangen konnte, an eine der Polspitzen ansprang.

13) Endlich muss ich noch eines wasserhellen Turmalins erwähnen, dessen Längendimension mit der Axenrichtung zusammenfiel, der übrigens aber unregelmässig war. Die Masse desselben zeigte sich *diamagnetisch*, wonach es erscheint, dass überhaupt sowohl die rothe als auch die grüne Färbung desselben von Eisen herrühre. Hiernach musste die diamagnetische Kraft, die von den Polen des Elektromagneten ausging, übereinstimmend mit der Abstossung auf die Axenrichtung wirken, um den Krystall äquatorial zu stellen.

14) Was den Turmalin anbetrifft, so hielt ich mich nach dem Vorstehenden für berechtigt, das Gesetz als feststehend zu betrachten, dass die Axenrichtung desselben von den Polen eines Magneten abgestossen wird, und dass diese Abstossung in dem gewöhnlichen Falle, dass die Masse des Turmalins magnetisch ist, bei gehöriger Entfernung der Pole selbst die bei überwiegender Dimension des Krystalls nach der Axenrichtung hervorgebrachte magnetische Anziehung der Axe überwindet.

Hier drängt sich ganz natürlich der Gedanke auf, ob nicht vielleicht die beobachteten Erscheinungen mit der bekannten Thatsache, dass der Turmalin bei der Erwärmung und Erkaltung elektrische

Polarität zeigt, in unmittelbarer Beziehung stehe. Doch das muss entschieden in Abrede gestellt werden.

15) Es wäre vielleicht möglich gewesen, dass durch die Berührung des Turmalins bei der Aufhängung elektrische Strömungen in der Masse desselben hervorgerufen worden wären. Aber der Turmalin zeigte, nachdem er vierundzwanzig Stunden ruhig unter dem Glaskasten der Drehwaage gehangen hatte, und dann der Elektromagnet wieder in Thätigkeit gesetzt wurde, ganz dieselben Erscheinungen, und auch dann war in denselben durchaus kein Unterschied wahrzunehmen, wenn er durch Erwärmung zwischen den Magnetpolen an seinen Enden elektrisch wurde.

16) Wenn der Turmalin unter Wasser aufgehängt wurde, so stellte er sich ebenfalls mit ganzer Entschiedenheit, und hierbei änderte sich nichts, wenn das Wasser bis in die Nähe des Siedepunktes erwärmt wurde. Bei der hier stattfindenden Benetzung der Oberfläche des Krystalls kann zwar auf der Oberfläche desselben keine elektrische Spannung hervortreten; wenn diese Spannung aber die Folge von inneren elektrischen Fluctuationen ist, so wäre vielleicht zu erwarten, dass diese durch die continuirliche Ableitung der auf der Oberfläche hervortretenden freien Elektricität befördert würden.

17) Der entscheidendste Beweis gegen die Annahme, dass überhaupt *elektrische Strömungen im Innern des Krystalls, welche nicht erst durch den Magneten hervorgerufen werden*, der Grund der fraglichen Erscheinungen seien, liegt in dem Umstande, dass solche Ströme, welche Richtung wir ihnen auch zuschreiben mögen, eine *polare* Abstossung der Axenrichtung hervorbringen würden. Diesem widerspricht aber die Beobachtung auf das Bestimmteste.

18) Da die Abstossung der Axenrichtung durch die Magnetpole hiernach nicht pyro-elektrischen Ursprungs ist, so stand zu erwarten, dass sie auch nicht auf den Turmalin, den ich zufällig zuerst genommen hatte, und auf einige wenige Krystalle sich beschränkte. Nachdem ein vorläufiger Versuch mit einem Stückchen Bergkrystall dieselbe auch bei diesem nachgewiesen hatte, unternahm ich die Prüfung der verschiedenen Krystalle und zwar zunächst der *einaxigen*. Bei dieser Prüfung war vor Allem auf eine Unterscheidung Rücksicht zu nehmen, darauf nämlich, ob die Substanz der Körper *magnetisch* oder *diamagnetisch* sich verhielt. Namentlich kam es darauf an, neben dem in Folge des Eisengehaltes magnetischen Turmalin einen Krystall von diamagnetischer Substanz zu prüfen. Um hierbei eine Wirkung zu erhalten, die durchaus nicht dem Diamagnetismus zugeschrieben werden könnte, musste eine solche Krystallform gewählt werden, oder

dem Krystall musste künstlich eine solche Form gegeben werden, dass die kürzeste Dimension derselben mit der Axenrichtung zusammenfiel. Die Form des wasserhellen diamagnetischen Turmalins der 13. Nummer entspricht nicht der Anstellung eines entscheidenden Versuchs.

19) Ich untersuchte hiernach zuerst den Doppelspath, dessen Masse entschieden diamagnetisch ist. Ein von natürlichen Spaltungsflächen begränzter wasserheller Krystall, dessen Kantenlängen 60 mm, 50 mm, 28 mm betrugen, wurde ohne Anwendung der Polspitzen so aufgehängt, dass seine Axe zwischen den Polen horizontal schwingen konnte. Diese Axe stellte sich genau äquatorial, wobei der Krystall eine solche Lage einnahm, in welcher weder eine magnetische noch eine diamagnetische Masse von gleicher Form in Folge der magnetischen und diamagnetischen Einwirkung der Pole des Elektromagneten zur Ruhe gekommen sein würde.

20) Dann nahm ich einen kleinen Krystall in der Grundform, der sich zwischen den genäherten Polspitzen, den Diamagnetismus überwindend, mit seiner Axenrichtung genau äquatorial stellte. Ein zweiter grösserer solcher Krystall, dessen Kantenlänge 15 mm war, und dessen stumpfe Ecken senkrecht gegen die optische Axe so weit abgeschliffen worden waren, dass die Dicke des Krystalls nach der Axenrichtung nur noch 10 mm betrug, wurde wie die beiden früheren aufgehängt und stellte sich mit seiner Axe wie diese. Wenn die Polspitzen indess so weit genähert wurden, dass derselbe mit seinen grösseren Dimensionen sich nicht mehr in die Linie der Polspitzen stellen konnte, so richtete er sich, indem er eine Drehung von 90° annahm, wie ein diamagnetischer Körper, so dass seine Axenrichtung mit der Linie der Polspitzen zusammenfiel, und die diamagnetische Abstossung der Masse die Lage des Krystalls bestimmte.

21) Dann untersuchte ich noch mehrere senkrecht gegen die Axe geschliffene Platten, die sich alle entsprechend verhielten. Eine solche Platte, die 26—30 mm breit und lang und 6 mm dick war, stellte sich, in gleicher Weise aufgehängt und frei schwingend, wie eine diamagnetische Masse, bei einer grösseren Entfernung der Pole aber, oder bei einer Verkürzung oder Verlängerung des Coconfadens, stellte sie sich nach einer Drehung von 90° so, als ob sie magnetisch geworden wäre, die Axe senkrecht gegen die Linie der Polspitzen gekehrt.

22) Die in dem Vorstehenden beschriebenen Versuche beweisen übereinstimmend, dass von den Polen des Magnets eine Abstossung auf die Axenrichtung des Doppelspaths ausgeübt wird, und dass, wenn durch Verkürzung der Dimension nach dieser Richtung aus der diamagnetischen Abstossung der Masse des Krystalls eine Anziehung auf

die Axenrichtung resultirt, bei gehöriger Entfernung der Pole diese Anziehung kleiner wird als jene Abstossung.

23) Während der wasserhelle Doppelspath diamagnetisch ist, ist ein weisser undurchsichtiger Kalkspathkrystall *magnetisch*, und ein solcher verhielt sich analog wie Turmalin.

24) Der Bergkrystall ist diamagnetisch wie der Doppelspath und zeigte wie dieser die Abstossung der Axenrichtung. Nur ist diese Abstossung *weniger stark*. Wenn eine senkrecht gegen die Axe geschnittene Platte (die die Drehung der Polarisationsebene zeigt) etwa drei Mal länger und breiter als dick ist, so stellte sie sich, mit der Axe horizontal aufgehängt, wie ein diamagnetischer Körper und war nicht mehr durch Entfernung der Pole um 90° zu drehen, was bei Platten, deren Dimension nach der Richtung der Axe weniger zurücktrat, entschieden stattfand.

25) In einem Soleil'schen Apparate sind, um die conjugirten Hyperbeln im polarisirten Lichte zu zeigen, zwei gleiche Säulen aus Bergkrystall geschliffen, deren Gesammthöhe 50 ^{mm} beträgt, und deren Basis ein fast regelmässiges Achteck ist, dessen zwei gegenüberstehende, 26 ^{mm} von einander entfernte Seiten von der optischen Axe rechtwinklig geschnitten werden. Die beiden Säulen sind so zu einer einzigen Säule zusammengekittet, dass in den beiden Hälften die Axenrichtungen auf einander senkrecht stehen. Wenn die ganze Säule so aufgehängt wird, dass ihre Axe (die Axe der Säulenform) mit der Richtung der Coconfäden zusammenfällt, und demnach die optischen Axen horizontal schwingen können, so nimmt sie, in der Art gehoben oder gesenkt, dass ein Mal die untere, das andere Mal die obere Säulenhälfte sich zwischen den Polspitzen befindet, nach einander zwei verschiedene Stellungen an, deren eine in die andere durch eine Drehung von 90° übergeht, wobei jedesmal die Richtung der optischen Axe der in der Linie der Polspitzen schwingenden Hälfte sich senkrecht gegen diese Linie stellt.

26) Als solche Krystalle, deren Substanz magnetisch war, und die sich in Folge ihrer Form durch die magnetische Anziehung der Pole des Elektromagneten, wenn sie in der Linie der Polspitzen aufgehängt wurden, wie die Turmaline nach dieser Linie richteten, aber, wenn sie gehoben oder gesenkt wurden, sich nach einer Drehung von 90° äquatorial stellten, bewiesen sich ganz entschieden:

1. ein undurchsichtiger, vollständig auskrystallisirter *Quarz* von Hagen, dessen Längen- und Axendimension 10 ^{mm} betrug;

2. ein *Zirkon*-Quadratoctaëder mit abgestumpften Ecken und Kanten aus Sibirien;

3. ein *Beryll*-Krystall aus Sibirien in einer sechsseitigen Säule, 41^{mm} lang und 11 bis 13^{mm} dick;

4. zwei *Smaragd*-Krystalle, gelblichgrün durchscheinend, der eine 27^{mm} lang und 14^{mm} dick, der andere viel grösser und mehrere hundert Gramm wiegend;

5. ein schwarzer *Idokras* aus Sibirien, ganz auskrystallisirte, quadratische Säule, die Kanten abgestumpft, die Enden zugespitzt und eine Zuspitzung wieder abgestumpft;

6. ein grosser *Korund*.

27) Ich fand zwei Krystalle, welche stark magnetisch waren und aus der axialen Lage, in welcher der Magnetismus sie festhielt, auch durch eine Entfernung der Pole nicht gebracht werden konnten. Bemerkenswerth ist, dass diese Krystalle beide *magnetische Polarität* zeigten.*) Es ist mir wahrscheinlich, dass bei Anwendung eines stärkeren Stromes, der eine grössere Entfernung der Polenden gestattet, auch diese Krystalle, den Magnetismus der Substanz überwindend, sich äquatorial stellen würden, was sie ebenso wahrscheinlich auch dann gethan haben würden, wenn ich, was mir nicht gestattet war, ihre Längen- und Axendimension verkürzt hätte.

Diese beiden Krystalle waren die folgenden:

1. ein undurchsichtiger bräunlicher *Pinit*-Krystall aus der Auvergne, eine regelmässige sechsseitige Säule, 12^{mm} lang, 6 bis 7^{mm} dick;
2. ein kleiner *Sapphir*-Krystall.

28) Nach den bisher mitgetheilten Versuchen scheint mir das in der ersten Nummer ausgesprochene empirische Gesetz, so weit es die einaxigen Krystalle betrifft, hinlänglich begründet, und zwar gilt es ohne Unterschied sowohl für *positive* Krystalle, als auch für *negative*.

29) Hiernach war ferner mit Bestimmtheit vorauszusetzen, dass auch bei Krystallen mit *zwei optischen* Axen eine analoge Wirkung stattfinden werde, wie bei einaxigen Krystallen. Als eine solche konnte man entweder eine Abstossung der *beiden optischen* Axen erwarten, oder auch bloss eine Abstossung auf ihre *Mittellinie*, das heisst auf diejenige Richtung, welche den von den optischen Axen gebildeten *spitzen* Winkel halbirt. Die Versuche sprechen für die erste, allgemeinere Annahme, welche die zweite einschliesst.

30) Ich schnitt aus einer *Glimmer*tafel eine kreisrunde Scheibe von ungefähr 22^{mm} Durchmesser und hängte dieselbe an einem Coconfaden so auf, dass sie horizontal schwingen konnte. Es liegen be-

*) Auch eine der erwähnten Turmalinplatten zeigte sich ebenfalls polar, aber nur schwach und nach einer Richtung, welche nicht mit der Axe zusammenfiel.

kanntlich die beiden optischen Axen des Glimmers in einer Ebene, die auf dem Blätterdurchgange desselben senkrecht steht, indem sie mit der Normalen zu beiden Seiten derselben Winkel bilden, die ich auf $22\,{}^1/_2{}^0$ schätzte. Bei der obigen Aufhängung konnte sich also die Ebene der beiden Axen um ihre vertikal stehende Mittellinie drehen. Zwischen den beiden Magnetpolen nahm das Glimmerblättchen eine solche Stellung an, dass diese Ebene mit der Aequatorialebene zusammenfiel. In dieser Stellung wurde nämlich auf dem Glimmerblättchen die äquatoriale Richtung verzeichnet, und es fand sich nachher, dass die beiden optischen Axen, das heisst diejenigen beiden Richtungen, welchen beim Hindurchsehen im polarisirten Lichte die Mittelpunkte der beiden Ringsysteme entsprechen, in derjenigen Ebene lagen, welche auf dem Glimmerblättchen in der äquatorialen Richtung senkrecht steht.

Der Glimmer verhält sich wie ein magnetischer Körper.

31) Um den Versuch der vorigen Nummer, mit Rücksicht auf die Schlussbemerkung derselben, abzuändern, wurde auf einer Glimmertafel die Ebene der beiden optischen Axen bestimmt, und aus derselben ein Sechseck mit parallelen gegenüberliegenden Seiten so geschnitten, dass die längere Dimension von 26^{mm} in die eben bestimmte Ebene fiel, während die Breite des Blättchens nur 18^{mm} betrug.

Das Glimmerblättchen wurde wiederum wie vorhin aufgehängt und stellte sich, wenn die Polspitzen möglichst genähert wurden, mit seiner Längenrichtung, also mit der Ebene der beiden Axen, in die Linie der Pole. Wurde das Glimmerblättchen gehoben oder gesenkt, so drehte es sich um 90^0, so dass die Ebene der beiden optischen Axen sich senkrecht gegen diese Linie stellte.

32) Dann nahm ich einen aus Schottland mitgebrachten wasserhellen *Topas*, der so geschliffen ist, dass er annäherungsweise eine gerade rhombische Säule bildet, deren beide Paare gegenüberliegender Seitenflächen auf den beiden optischen Axen senkrecht stehen. Die Länge des Krystalls beträgt 19^{mm}, seine Dicke, nach der Richtung jeder der beiden Axen genommen, 10^{mm}. Die Mittellinie zwischen den beiden optischen Axen fiel hiernach mit der kürzeren Diagonale der rhombischen Säule zusammen. Auf zwei an einander stossende Seitenflächen waren zwei *dünne* Turmalinplättchen gekittet (die für sich durchaus keinen merklichen Einfluss übten), so dass polarisirtes Licht, das durch den Krystall nach jeder seiner optischen Axen und dann durch das entsprechende Turmalinplättchen hindurchging, eines der beiden Ringsysteme gab. Die Substanz des Krystalls war diamagnetisch.

1. Wenn der Krystall so aufgehängt wurde, dass die Ebene seiner

beiden optischen Axen sich vertical um die Mittellinie derselben drehen konnte, so stellte sich, bei möglichster Annäherung der Polspitzen, diese Ebene in Folge des Diamagnetismus axial, drehte sich aber, den Diamagnetismus überwindend, um 90° und stellte sich äquatorial, sobald der Krystall gehoben oder gesenkt wurde.

2. Wenn der Krystall so aufgehängt wurde, dass die Ebene seiner beiden optischen Axen horizontal schwingen konnte, so stellte sich die Mittellinie bei der beschriebenen Form des Krystalls wiederum axial und nach einer Hebung oder Senkung, den Diamagnetismus überwindend, äquatorial.

33) Bei den Versuchen der vorigen Nummer können wir den Topas auch durch den krystallisirten Zucker ersetzen. Diejenigen Ebenen nämlich, nach welchen ein Zuckerkrystall sich am leichtesten spalten lässt, sind auf einer seiner beiden optischen Axen senkrecht, und wenn man zwei solcher Durchgangsflächen polirt (ein blosses Abschaben durch ein Glasstück reicht hier hin) und zwischen zwei gekreuzte Turmalinplatten bringt, so erkennt man schon aus der Lage des das Ringsystem durchschneidenden schwarzen Streifens die Ebene der beiden optischen Axen und weiss dann aus dem bekannten Winkel von ungefähr 50°, den diese Axen mit einander bilden, die Richtung der zweiten Axe und der Mittellinie zwischen beiden.

34) Krystalle von brasilianischem *Topas*, *Aragonit*, *Salpeter*, *Glaubersalz* und von vielen anderen Substanzen, die sich diamagnetisch verhielten und in entschiedener Säulenform krystallisirten, stellten sich zwischen den Polspitzen, sowie in jeder Entfernung von denselben, äquatorial mit ihrer Längen- und Säulenaxe, die (wo nicht in allen Fällen, doch durchschnittlich) zugleich die Mittellinie zwischen ihren optischen Axen ist. Diese Erscheinungen haben an sich, der diamagnetischen Wirkung wegen, keine Beweiseskraft; nur durften sie nicht anders sich zeigen. Beweisend aber war der Versuch mit einem *Staurolithkrystall*, der magnetisch sich verhielt und in der Linie der Polspitzen sich axial, gehoben und gesenkt aber äquatorial stellte. Dieser Versuch wurde gleich anfangs, noch vor jenem mit dem Topas, mit dem entschiedensten Erfolge, später aber zu meinem Befremden mit fast zweifelhafter Wirkung angestellt und zum Schlusse dieser Experimentaluntersuchungen unter neuem Gesichtspunkte wiederholt, so dass ich auch noch in einer späteren Nummer (40) ausführlich darauf zurückkommen werde.

Ein *Lepidolith*krystall war so stark magnetisch, dass er bei einer Erhebung nicht herumgeworfen werden konnte, ebenso ein schön ausgebildeter *Hornblende*krystall (eine dicke, an beiden Enden zugespitzte

sechsseitige Säule). Ersterer zeigte durchaus keine magnetische Polarität, letzterer sehr entschieden.

35) Es ist noch zu bemerken, dass man alle zweiaxigen Krystalle, wie alle einaxigen, die in den beschriebenen Versuchen mit einer bestimmten Dimension sich axial oder äquatorial stellten, durch Oeffnen und Schliessen der Kette um 180° herumwerfen und in der neuen Lage festhalten konnte.

36) Die in der 30.—35. Nummer angeführten Erscheinungen finden ihre vollständige Erklärung in der Annahme, dass von den Magnetpolen aus eine Abstossung auf die beiden optischen Axen ausgeübt werde, und dann müssen wir, infolge des zweiten Versuches mit dem Topas (33), zu dieser Annahme noch die Voraussetzung hinzufügen, dass die Abstossung auf die beiden optischen Axen gleich gross ist. Die beiden Glimmerversuche (30 und 31), so wie der erste Topasversuch (32) gestatten nicht, dass wir, statt der Abstossung auf beide Axen, bloss eine Abstossung auf die Mittellinie zwischen beiden annehmen.

In dem zweiten Versuche mit dem Glimmerblättchen überwand die Abstossung auf die Axen die *magnetische*, in dem Fall der Versuche mit dem Topas und dem Zucker die *diamagnetische* Kraft, welche jedesmal den Krystall, in Gemässheit seiner Form, in eine um 90° verschiedene Stellung zu bringen strebte.

37) Durch eine theoretische Combination hervorgerufen, wurden noch zwei Versuche angestellt, die für zweiaxige Krystalle charakteristisch sind und unsere Aufmerksamkeit vorzugsweise in Anspruch nehmen. Bevor ich aber über dieselben berichte, schicke ich, zur Erleichterung der Uebersicht der Erscheinungen bei zweiaxigen Krystallen, wie sie durch Magnetismus und Diamagnetismus, durch die Lage der beiden Axen, durch die äussere Form des Krystalls und durch die Richtung der Aufhängung in Beziehung auf diese Axen bedingt werden, die folgenden allgemeinen Erörterungen voraus.

Wir können bei einem zweiaxigen Krystall drei Normalaufhängungen unterscheiden, nach drei auf einander senkrechten Richtungen:

1. nach einer Richtung Z, die auf der Ebene der beiden optischen Axen senkrecht steht;
2. nach der Mittellinie Y zwischen den beiden optischen Axen;
3. nach derjenigen Richtung X, welche in der Ebene der beiden optischen Axen auf der Mittellinie derselben senkrecht steht.

In dem ersten Falle schwingt die Ebene XY der beiden optischen

Axen horizontal, und es stellt sich in Folge der Abstossung der Axen die Mittellinie Y äquatorial.*) Diese Wirkung wird,

a) wenn der Krystall magnetisch, und seine Dimension nach der Mittellinie Y kleiner ist, als senkrecht darauf nach X;

b) wenn er diamagnetisch, und seine Dimension nach Y grösser, als nach X ist;

einmal durch die magnetische Anziehung, das andere Mal durch die diamagnetische Abstossung der Masse verstärkt. Wenn umgekehrt

c) der Krystall magnetisch, und seine Dimension nach Y grösser, als nach X;

d) der Krystall diamagnetisch, und seine Dimension nach Y kleiner, als nach X ist,

so muss die magnetische Anziehung und diamagnetische Abstossung der Masse erst überwunden werden, bevor die Abstossung der Axen hervortreten kann.

In der zweiten und dritten Normalaufhängung schwingt die Ebene XY der beiden optischen Axen so, dass sie beide Mal immer vertical bleibt, und beide Mal wird sie in Folge der Axenabstossung in die äquatoriale Lage getrieben. In der zweiten Aufhängung schwingt die Richtung X, in der dritten die Mittellinie Y horizontal und stellt sich äquatorial. Die Axenwirkung wird, wenn

---

*) Im Texte haben wir stillschweigend vorausgesetzt, dass die Neigung der beiden Axen gegen einander nicht gross sei. Strenge genommen giebt es nach unserer Auffassungsweise auch bei einaxigen Krystallen, wenn sie senkrecht gegen die Axe aufgehängt werden, in Folge der blossen Axenwirkung eine doppelte Gleichgewichtslage, eine stabile und eine labile. Wenn wir annehmen, dass die einzige Axe sich in zwei theile, die in der Horizontalebene gleich weit zu beiden Seiten von der ursprünglichen Axe sich entfernen, so dass diese nun zur Mittellinie Y wird, so wird das labile Gleichgewicht allerdings ein stabiles, aber die Stabilität desselben ist anfangs nur eine geringe, wird aber grösser, wenn die beiden Axen sich weiter öffnen, und wenn diese Axen mit einander einen Winkel von 90° bilden, so ist die Stabilität der beiden Gleichgewichtslagen dieselbe, gleichviel ob wir den Krystall nach der Richtung X oder Y aufhängen. Wahrscheinlich wird ein Eisenvitriolkrystall, dessen beide optische Axen auf einander senkrecht stehen, wenn wir ihm eine solche äussere Form geben, bei welcher die magnetische Anziehung keine Drehung hervorbringt, zwei gleich stabile Gleichgewichtslagen zeigen. Bei einem Versuche mit einer dünnen kreisrunden (diamagnetischen) Tafel von schwefelsaurem Kalk von etwa 18 mm Durchmesser, in deren Ebene die beiden optischen Axen einen Winkel von 60° bilden, konnte ich nur mit Mühe dieselbe in der zweiten, weniger stabilen Gleichgewichtslage festhalten. Der Versuch ist mit einer grösseren Tafel oder bei grösserer Zuspitzung der Polflächen zu wiederholen; zugleich aber zu berücksichtigen, dass, wenn in Folge der Form die diamagnetische Richtkraft nicht ganz verschwunden ist, diese natürlich die Stabilität des Gleichgewichts schwächt.

a) der Krystall magnetisch, und seine Dimension im zweiten Falle nach X und im dritten Falle nach Y kleiner ist, als nach Z;

b) der Krystall diamagnetisch, und seine Dimension bezüglich nach X und Y grösser ist, als nach Z,

durch die magnetische Anziehung und diamagnetische Abstossung der Masse verstärkt. Diese Kräfte müssen hingegen vorher überwunden werden, wenn die Axenabstossung sich zeigen soll, falls

c) der Krystall magnetisch, und seine Dimension nach X oder Y grösser ist, als nach Z;

d) der Krystall diamagnetisch, und seine Dimension nach X oder Y kleiner ist, als nach Z.

38) Der *Aragonit* krystallisirt in geraden rhombischen Säulen, die durch Entscharfseitung in der Regel zu sechsseitigen werden. Aus einer solchen Säule, die vollkommen durchsichtig war, liess ich ein Stück senkrecht gegen die Axe schleifen und poliren, und bestimmte dann, um vollkommen sicher zu sein, die beiden Axen durch Hindurchsehen im polarisirten Lichte. Es bilden diese Axen, wie bekannt, mit einander einen Winkel von stark 18^0, und die Mittellinie, die diesen Winkel halbirt, fällt mit der Axe der Säulenform zusammen. Die Ebene der beiden optischen Axen fand sich senkrecht auf denjenigen parallelen Seitenflächen, deren Abstand von einander der kleinste war und 10^{mm} betrug. Die Höhe der Säule betrug $12{,}5^{mm}$, und die grösste Diagonale ihrer Endflächen, die auf der Ebene der beiden optischen Axen senkrecht stand, 22^{mm}. Die Richtungen, nach welchen diese drei Dimensionen genommen sind, fallen bezüglich mit den Richtungen, die wir in der vorigen Nummer durch X, Y und Z bezeichnet haben, zusammen, und es ist also, indem wir durch dasselbe Zeichen zugleich auch die entsprechende Dimension bezeichnen:

$$Z > Y > X.$$

Die Substanz des Aragonits ist stark diamagnetisch. Nach der Richtung Z aufgehängt, stellte sich der Krystall mit der Richtung Y äquatorial, und diese Wirkung wurde, da $Y > X$, durch die diamagnetische Wirkung auf die Masse des Krystalls verstärkt. In Folge der diamagnetischen Wirkung wirft sich der Krystall, wenn er so aufgehängt wird, dass er mit seiner Längenrichtung Z horizontal schwingen kann, so herum, dass diese Richtung sich senkrecht gegen die Linie der Polspitzen stellt, und die Kraft, mit welcher dies geschieht, ist offenbar (mit Vernachlässigung von Grössen, die hier nicht in Betracht kommen) *dieselbe, gleichviel, nach welcher Richtung der Ebene XY der Krystall aufgehängt wird.* In den beiden Normalaufhängungen nach X und Y ist aber, wenn wir eine Abstossung, die von den beiden Polen auf die

beiden Axenrichtungen ausgeübt wird, annehmen, die dadurch hervorgebrachte Wirkung eine der Intensität nach sehr verschiedene. Es kann dieselbe beide Mal nur in einer Drehung der beiden Axenrichtungen um die jedesmalige Linie der Aufhängung bestehen, wobei jede durch einen beliebigen Punkt des Krystalls gehende optische Axe ein einschaliges Rotations-Hyperboloïd, oder, wenn sie insbesondere die Linie der Aufhängung schneidet, eine Kegelfläche beschreibt. Das Drehungsmoment ist aber bei der Aufhängung nach Y kleiner, als bei der Aufhängung nach X, und zwar um so mehr, je spitzer der Winkel ist, den die beiden optischen Axen mit einander bilden, so dass zugleich mit diesem Winkel (wenn der Krystall ein einaxiger wird) das erste Drehungsmoment ganz verschwindet. Es folgt hieraus, dass, wenn, wie bei den Versuchen mit Topas und Zucker (32, 33), die Axenwirkung die diamagnetische Wirkung, welche (weil $Z > X$ und $> Y$) beide Mal in entgegengesetztem Sinne stattfindet, bei einer Entfernung der Polspitzen überwältigen soll, dieses bei der Aufhängung nach der Mittellinie Y später erfolgen muss, als bei der Aufhängung nach X.

Bei möglichster Annäherung der Polspitzen stellte sich der Krystall beide Mal, wie ein diamagnetischer Körper, mit der Längenrichtung Z äquatorial und warf sich bei einer Verkürzung des Coconfadens beide Mal um 90° herum. *Das geschah bei der Aufhängung nach der Mittellinie Y, wenn der Krystall ungefähr 40^{mm} über die Linie der Polspitzen gehoben wurde; bei der Aufhängung nach X fand dies aber schon nach einer Erhebung von 11^{mm} statt.*

39) Ein zweiaxiger Krystall, der die Säulenform hat, und dessen Masse magnetisch ist, muss sich, zwischen den Polspitzen schwingend aufgehängt, nothwendig anders verhalten, als ein einaxiger Krystall von ungefähr gleicher äusserer Form. Die Kraft nämlich, mit welcher der einaxige Krystall in die äquatoriale Lage getrieben wird, bleibt unverändert dieselbe, gleichviel wie wir denselben aufhängen, so lange seine Längenrichtung in der Horizontalebene schwingen kann. Ich fand dieses durch einen direkten Versuch bestätigt, indem ich mit demselben Turmalin den Versuch der achten Nummer in der Art drei Mal wiederholte, dass ich, während die Polspitzen unverrückt blieben, den Turmalin nach drei verschiedenen, in einer auf der Säulenaxe senkrechten Ebene liegenden Richtungen aufhängte. Jedesmal war eine Erhebung von genau 24^{mm} nothwendig, um den Turmalin um 90° herumzuwerfen, so dass er sich äquatorial stellte.

Bei einem zweiaxigen Krystall kann dies, welches auch die Lage der beiden optischen Axen sein mag, nicht der Fall sein. Wir wollen annehmen, dass bei einem solchen Krystalle die Mittellinie Y mit der

Axe der Säule zusammenfalle. Nach welcher Linie in der Ebene *XZ* wir den Krystall alsdann auch aufhängen mögen, die magnetische Wirkung hält ihn immer mit derselben Kraft in der axialen Lage fest, während die von den Polen ausgehende Abstossung der beiden Axen ihn äquatorial zu stellen strebt, aber mit verschiedener Kraft.

Wenn der Krystall nämlich nach der Richtung *Z* aufgehängt wird, und demnach die beiden optischen Axen horizontal schwingen, so streben die von jedem Magnetpole auf die beiden Axen wirkenden Kräfte Drehungen in entgegengesetztem Sinne hervorzubringen. Wenn aber der Krystall nach der Axe *X* aufgehängt ist, und demnach die Ebene der beiden Axen während der Schwingung des Krystalls immer vertical bleibt, so summiren sich die von jedem Magnetpole ausgehenden Kräfte, und die resultirende Kraft ist augenscheinlich grösser, als bei der vorigen Aufhängung. Ueberdies ist klar, dass das Drehungsmoment um so mehr wächst, je mehr sich die Richtung des Coconfadens von der Richtung *Z* entfernt und der Richtung *X* nähert.

40) Die vorstehenden Erwägungen führten mich zu dem Staurolithversuch der 34. Nummer zurück, und ich zweifelte nicht, dass gerade dasjenige, was mir früher als eine unerklärte Anomalie Verlegenheit bereitet hatte, nun eine schöne Bestätigung meiner theoretischen Auffassungsweise abgeben würde.

Der Staurolithkrystall war durchscheinend und stark magnetisch. Er bildete eine 18^{mm} lange Säule, deren Querdurchschnitt ein unregelmässiges Sechseck *ABCDEF* war. Die gegenüberliegenden parallelen Seitenflächen hatten ungefähr denselben Abstand von einander, und dieser betrug 6^{mm}. Die Polspitzen wurden möglichst genähert und bei allen Versuchen unverrückt in derselben Lage gehalten. Der Krystall wurde *erstens* senkrecht gegen die Seitenflächen *AF* und *CD*, dann *zweitens* senkrecht gegen die Seitenflächen *AB* und *DE* aufgehängt. In beiden Fällen war eine Erhebung von genau 25^{mm} über die Linie der Polspitzen erforderlich, damit der Krystall sich äquatorial stellte. Dann wurde *drittens* aber der Krystall senkrecht gegen die Seitenflächen *BC* und *EF* aufgehängt, und es war bei der angewandten Stromstärke nun nicht mehr möglich, durch eine Hebung den Krystall um 90^0 herumzuwerfen; bei 100^{mm} Erhebung behauptete er wenigstens noch seine axiale Stellung. Hiernach wurden noch zwei Aufhängungen gemacht, die *vierte* nach der Halbirungslinie des Winkels bei *A*, welche auf der Linie der dritten Aufhängung senkrecht stand, und die *fünfte* nach der Halbirungslinie des Winkels bei *B*. Bei der vierten Aufhängung wurde der Krystall bei einer Erhebung von 23^{mm}, bei der fünften bei einer Erhebung von 50^{mm} bis 55^{mm} herumgeworfen. Das

stärkste Drehungsmoment in Folge der Abstossung der optischen Axen fand also bei der vierten und das schwächste bei der dritten Aufhängung statt. Wir ziehen hieraus die Schlussfolge, dass die allgemein durch X bezeichnete Richtung den Winkel bei A halbirt, während die Richtung Z auf den Seitenflächen BC und EF senkrecht steht.

Es wurden hierauf die Winkel der Säule gemessen, und es fanden sich die Winkel bei A und D ungefähr 129°. Die Grundform aber ist bekanntlich eine gerade rhombische Säule, in welcher die stumpfen Winkel dem gemessenen gleich sind. Die Ebene der optischen Axen geht also durch die beiden stumpfen Kanten der Grundform. Die beiden Flächen BC und DF, durch welche die beiden spitzen Kanten abgestumpft sind, sind der Ebene der beiden Axen parallel.[2])

Es möchte vielleicht die oben gemachte Voraussetzung, dass die Axe der Säule die Mittellinie zwischen den beiden optischen Axen ist, noch der Bestätigung bedürfen. Zu diesem Ende hängte ich die Staurolithsäule nach ihrer Längenrichtung auf; sie stellte sich mit der durch die beiden stumpfen Kanten gehenden Ebene äquatorial. Nach diesem Versuche kann kein Zweifel mehr über die gemachte Voraussetzung stattfinden.

41) Wir können die in der vorigen Nummer angewandte Beobachtungsweise auch dahin abändern, dass wir die Staurolithsäule, statt sie bei den verschiedenen horizontalen Aufhängungen über die Linie der Polspitzen zu heben, um die Lage des Gleichgewichts in der Linie der Pole schwingen lassen und aus der verschiedenen Schwingungsdauer die Axenwirkung bestimmen. Ich nahm zu diesem Ende die Polspitzen ganz fort, dann stellte sich die Säule bei der dritten Aufhängung axial, bei der vierten äquatorial; dann steckte ich die beiden Spitzen wieder ein und schob sie so weit vor, dass auch bei dieser Aufhängung die äquatoriale Stellung in die axiale überging. Da die magnetische Kraft, bei derselben Entfernung der Spitzen, bei den verschiedenen Aufhängungen unverändert dieselbe bleibt, so wird die Säule jedesmal durch eine Kraft gerichtet, die dieser constanten Kraft, *weniger* der veränderlichen auf die Axen wirkenden Kraft, gleich ist. Das Verhältniss dieser letzten Kraft bei verschiedener Aufhängung lässt sich auf diesem Wege ermitteln. Je mehr die Richtung der Aufhängung der oben durch X bezeichneten Richtung sich nähert, desto langsamer oscillirt der Krystall.

Diese Beobachtungsweise, die, wo es sich bloss darum handelt, Anschauungen zu geben, weniger bequem ist, weil sie grössere Sorgfalt fordert, hat ihrerseits den Vortheil einer grösseren Anwendbarkeit; sie kann auch dann eintreten, wenn der Krystall so stark eisen-

haltig ist, dass die Axenwirkung die magnetische Anziehung nicht mehr überwältigen kann, wie dies zum Beispiel bei einem Lepidolithkrystall der Fall war. Sie ist auch dann anwendbar, wenn der Krystall diamagnetisch ist und sich schon in Folge seiner Form äquatorial stellt. Eine Topassäule würde ein passendes Beispiel liefern. Hier *summiren* sich die diamagnetische Abstossung und die Wirkung auf die Axen, um die beobachtete Wirkung hervorzubringen.

42) Die letzten Nummern enthalten das erste Beispiel, wie man durch Hülfe eines Magneten die optischen Axen eines Krystalls bestimmen kann, und überraschend muss es erscheinen, dass hierbei der Krystall undurchsichtig und jede Spur der Krystallform verwischt sein kann.

Auf demselben Wege können wir eine Beantwortung auf die Frage erhalten, ob eine derbe, durchsichtige oder undurchsichtige, einaxig oder zweiaxig krystallisirende Masse aus Elementarkrystallen besteht (es sei mir dieser nicht mineralogische Ausdruck hier gestattet), in denen eine Axenrichtung vorherrscht, oder ob dieses nicht der Fall ist, wie z. B. das optische Verhalten beim geschmolzenen Zucker kurz nach der Erstarrung letzteres, nach Verlauf längerer Zeit aber ersteres nachweiset.

43) Wenn wir eine Kugel (oder auch einen Rotationscylinder mit seiner Axe vertical) zwischen den beiden Polspitzen aufhängen, so kann dadurch keine Drehung hervorgebracht werden, dass die Masse entweder magnetisch oder diamagnetisch ist. Die *einzige* Wirkung, die hier hervortreten kann, ist die Abstossung der Axen. Ist die Kugel aus der Masse eines einaxigen Krystalls genommen, so wird sich bei jeder Aufhängung die Axe in die äquatoriale Ebene stellen. Ehe sie aber in dieser Lage festgehalten wird, macht sie Oscillationen um dieselbe, die um so rascher sind, je weiter die Richtung der Aufhängung von der Richtung der Axe abweicht. Ein vorläufiger Versuch mit einer Bergkrystallkugel von 57^{mm} Durchmesser hat gezeigt, dass wir hier zu genauen Maassbestimmungen gelangen können.*)

Verzeichnen wir bei irgend zwei verschiedenen Aufhängungen auf der Kugel die beidesmalige Aequatorialebene, so bestimmt der Durchschnitt der beiden Ebenen die Axenrichtung des Krystalls.

Bei dieser letzten Bestimmung ist die äussere Form ganz gleich-

*) Ich bemerke hierbei nur, dass zu solchen Bestimmungen besser eine Kugel aus einer *anderen* Krystallmasse genommen wird. Denn der Bergkrystall zeigte überhaupt die Axenwirkung gegen alle Erwartung schwach, und die Erscheinungen waren in mehreren Versuchen wenig hervortretend, weniger als bei allen übrigen Versuchen.

gültig, sobald wir uns nur überzeugt haben, dass bei der zu untersuchenden Masse die Axenwirkung den Magnetismus oder Diamagnetismus derselben überwunden hat.

Wenn die Masse endlich aus einem zweiaxigen Krystall genommen ist, so tritt bei dieser Bestimmung die Mittellinie zwischen den beiden Axen an die Stelle der einzigen Axe.

44) Schon Hr. Faraday hat auf die Modificationen aufmerksam gemacht, die eintreten, wenn ein Körper statt zwischen Polspitzen zwischen zwei Pol*flächen* aufgehängt wird. Was die diamagnetischen Körper betrifft, so ist der folgende Versuch charakteristisch.

Ich legte auf jeden Pol einen parallelepipedischen, 189^{mm} langen Anker so auf, dass die Polflächen, die ein Rechteck bildeten, das 67^{mm} breit und 27^{mm} hoch war, einander in solcher Entfernung gerade gegenüber standen, dass ein Wismuthcylinder, 34^{mm} lang und 6^{mm} dick, noch frei dazwischen schwingen konnte. Dieser Wismuthcylinder, so aufgehängt, dass sein Schwerpunkt in die horizontale Mittellinie zwischen den beiden Polflächen fiel, stellte sich so lange äquatorial*), als der Schwerpunkt innerhalb der beiden Ebenen der Seitenflächen der Anker sich befand. Sobald er eine dieser beiden Ebenen überschritt, zeigten sich *zwei* stabile Gleichgewichtslagen, die eine nach der Mittellinie (axial), die andere senkrecht dagegen (äquatorial)[8]; rückte der Schwerpunkt weiter noch fort, so blieb bloss die zweite dieser beiden stabilen Gleichgewichtslagen noch übrig. Alle diese Erscheinungen erklären sich vollständig aus einer nicht polaren Abstossung der Wismuthmasse durch die Pole des Elektromagneten.

45) Auf diese Erscheinungen, so wie auf die Stellung, welche eine magnetische Masse zwischen den Polflächen annimmt, müssen wir Rücksicht nehmen, wenn wir einen Krystall zwischen den Polflächen schwingen lassen und die alsdann eintretenden Erscheinungen im Voraus bestimmen wollen. Die Turmalinsäule der achten Nummer, in gleicher Weise wie der Wismuthcylinder aufgehängt, stellt sich in der Mitte *axial*, in den Ebenen der Seitenflächen der Anker *äquatorial*, und weiter hinweg wiederum *axial*. Die grössere Doppelspathplatte der 20. Nummer stellte sich in *allen* Aufhängungen mit ihrer Axe nach der Mittellinie, innerhalb der beiden Ebenen der Seitenflächen der Anker den Diamagnetismus der Masse überwältigend, ausserhalb derselben vom Diamagnetismus unterstützt.

46) Es möchte wohl kaum noch der Bestätigung bedurft haben, dass der Elektromagnet in den beschriebenen Erscheinungen ganz in

*) [Im Original steht axial, was Pl. selbst später berichtigt hat; siehe unten S. 64.]

derselben Art wie ein *permanenter Magnet* wirkt. Interessant aber war zu untersuchen, ob ein solcher Kraft genug besitze, um die Abstossung der Axen der Krystalle zur Anschauung zu bringen. Auf meine Veranlassung wiederholte Hr. vom Kolke, der mir mit Talent und Ausdauer bei meinen sämmtlichen Experimentaluntersuchungen als Assistent zur Seite stand, die Versuche der 4.—6. Nummer zuerst mit dem Magnete eines Ettinghausen'schen magnetoelektrischen Rotationsapparates, und später sogar mit einem kleinen Hufeisenmagnet, der an jedem seiner Pole kaum ein Kilogramm trug. Um die Pole zu nähern, legte er auf jede Endfläche des liegenden Magneten einen einige Millimeter dicken Eisenstab, deren Enden er in passende Entfernung brachte, um zwischen denselben, in freier Luft, die Turmalinplatte schwingen zu lassen. Der Erfolg war ganz entschieden.

47) Die Versuche, die ich in der gegenwärtigen Abhandlung mitgetheilt habe, sind nach meiner Meinung hinreichend, um das in der ersten Nummer ausgesprochene allgemeine Gesetz und das Vorhandensein einer neuen Kraft, die bisher durch keine Erscheinung inducirt war, zu begründen. Die Beziehung der dadurch neu gewonnenen Resultate zu den beiden Epoche machenden Entdeckungen des Herrn Faraday liegt zu nah, als dass ich sie hier ganz unberührt lassen sollte.

Es scheint mir, dass die Physiker der einen dieser beiden Entdeckungen, dass nämlich *alle* Körper ohne Ausnahme entweder magnetisch oder diamagnetisch sind, noch nicht allgemein diejenige Wichtigkeit beilegen, die sie wirklich hat. Hr. Faraday hat nicht einzelne Erscheinungen beobachtet und beschrieben, wie andere vor ihm, die nur halb dieselben erkannt haben mussten, wenn sie dieselben als Transversalmagnetismus bezeichneten, sondern er hat ein *allgemeines Gesetz* ausgesprochen und, wozu ich mich ganz unumwunden bekenne, eine ganz neue Wirkung der Magnete im Diamagnetismus nachgewiesen, wodurch allerdings die Natur der an und für sich schon so räthselhaften magnetischen Anziehung vorerst nur noch räthselhafter wird. Ich habe viele, aber vergebliche Versuche gemacht, um eine diamagnetische Polarität oder eine Reaction der diamagnetisch erregten Materie aufzufinden. Es scheint mir bis jetzt noch, namentlich wenn wir die hergebrachten Ideen über magnetische Vertheilung retten wollen, die einfachste Hypothese, dass wir daneben den Diamagnetismus als eine allgemeine Abstossung der Masse ansehen.

Was die andere Faraday'sche Entdeckung betrifft, so schliesse auch ich mich der allgemeinen Ansicht an, dass in der beobachteten Drehung der Polarisationsebene keine directe Einwirkung des Magneten auf das Licht stattfindet, sondern dass diese erst durch eine magnetische oder

diamagnetische Wirkung auf die kleinsten Massentheilchen hervorgerufen wird, wie sie von der Natur schon auf permanente Weise vielen Körpern, unter den Krystallen aber bloss dem Bergkrystall, und diesem nur nach der Richtung der Axe, eingeprägt ist.

48) Nach den von mir beschriebenen Erscheinungen geht von den Polen eines Magneten auf jeden ein- oder zweiaxigen Krystall eine eigenthümliche Einwirkung aus, die ihre Erklärung findet, wenn wir als resultirende Wirkung eine Abstossung der Axenrichtungen annehmen, die von der magnetischen und diamagnetischen Beschaffenheit der Materie unabhängig ist. Diese Abstossung hängt offenbar mit der Form der kleinsten Theilchen des Krystalls zusammen und scheint da einzutreten, wo der Magnetismus nicht im Stande ist, eine vorübergehende Molecularveränderung hervorzubringen, welche die von Herrn Faraday entdeckte Drehung der Polarisationsebene zur Folge hat.

Sollen wir annehmen, dass die neue abstossende Kraft eine durch die Form der kleinsten Massentheilchen hervorgebrachte Modification des Diamagnetismus ist? Auffallend wäre dann aber, dass diese Kraft so stark ist, dass sie, bei einer Aufhängung des Krystalls, die aus seiner Form hervorgehende, ursprünglich viel stärkere magnetische oder diamagnetische Richtkraft zu überwältigen im Stande ist, wenn die Magnetpole weiter entfernt werden. Die Versuche beweisen, dass die neue Kraft langsamer mit der Entfernung abnimmt, als diese Richtkraft.

Jedenfalls stehen die Formen der kleinsten Massentheilchen und magnetischen Kräfte in gegenseitiger Beziehung, was uns zu dem merkwürdigen Resultate geführt hat, dass wir Krystallisationsformen durch einen Magneten bestimmen können. Hierbei ist ferner eine Verwandtschaft derjenigen Kräfte, welche bei der Krystallisation wirksam sind, und der magnetischen Kräfte als höchst wahrscheinlich in Aussicht gestellt. Der wichtigste Gesichtspunkt ist hier aber offenbar darin zu setzen, dass die Richtungen, deren Abstossung aus der neuen Kraftäusserung resultirt, gerade diejenigen sind, welche zu dem Lichte in eigenthümlicher und ausschliesslicher Beziehung stehen, nach welchen dasselbe beim Hindurchgehen keine doppelte Brechung erleidet. Diese Beziehung wird nicht lange isolirt dastehen.

3.

Ueber das Verhältniss zwischen Magnetismus und Diamagnetismus.

(Annalen der Physik und Chemie. Bd. 72, S. 343—350. 1847.)

1) Hr. Faraday hat die von andern Physikern aufgestellte Ansicht, *dass der Diamagnetismus nur ein anderes Auftreten des Magnetismus sei*, durch die einfache Thatsache vollständig widerlegt, dass, während ein (nach Art des Eisens) magnetischer Körper seiner ganzen Masse nach von jedem der beiden Pole eines Magneten angezogen wird, ein diamagnetischer Körper von jedem Pole seiner ganzen Masse nach eine Abstossung erfährt.

2) Hiernach wäre die einfachste Voraussetzung diejenige, *nach welcher magnetische und diamagnetische Kräfte entgegengesetzte, sich neutralisirende Zustände der Materie hervorrufen*, eine Voraussetzung, die auf den ersten Blick durch die von Hrn. Faraday durchgehends beobachtete Erscheinung unterstützt wird, dass bei der Mischung einer magnetischen und diamagnetischen Substanz ein intermediärer Zustand hervorgebracht wird, der von dem Verhältnisse der Mischung abhängt, wobei nur zu erwägen ist, dass die magnetischen Kräfte in den gewöhnlichen Fällen unvergleichlich viel stärker sind, als die diamagnetischen. Jeder diamagnetische Körper zeigt sich bei allmäliger Beimischung einer verhältnissmässig geringen Quantität eines eisenhaltigen Körpers anfänglich immer schwächer diamagnetisch und wird bald magnetisch. Umgekehrt wird es nur in den Fällen sehr schwach magnetischer Substanzen zu erreichen sein, das magnetische Verhalten einer grösseren Masse durch die Beimischung einer diamagnetischen Substanz in nicht übergrosser Menge in das diamagnetische zu verwandeln. Wir müssen aber auch hier überall annehmen, dass durch eine solche Beimischung die Wirkung des Magnetismus geschwächt wird, und zwar in stärkerem Grade, als wenn die beigemischte Substanz sich wie eine indifferente träge Masse verhielte.

3) Gegen die Voraussetzung der vorigen Nummer spricht aber

allerdings schon der Umstand, dass, während ein zwischen den Magnetpolen magnetisch erregter Eisenstab an seinen Enden Polarität zeigt, bisher, aller Bemühung ungeachtet, keine Spur von Polarität einer zwischen den Magnetpolen diamagnetisch erregten Substanz nachgewiesen worden ist. Jeder Gedanke aber an die Haltbarkeit der fraglichen Voraussetzung muss in Folge der Versuche, über die ich nachstehend berichten werde, nothwendig aufgegeben werden.[1])

4) Schon bei meinen ersten Versuchen über den magnetischen oder diamagnetischen Zustand der verschiedenen Pflanzen- und Thiertheile, wobei namentlich sehr kleine Massen bei möglichster Annäherung der Pole untersucht wurden, fiel es mir öfter als Anomalie auf, dass, obwohl solche Körper, bis zur Berührung einem einzelnen Pole angenähert, von diesem abgestossen wurden, sie sich dennoch zwischen den Polen wie ein magnetischer Körper einstellten. Namentlich wurden Maikäferflügel, die sich zwischen den Polen magnetisch, das heisst mit ihrer Längenrichtung von einem Pole zum andern, einstellten, wenn sie mit der flachen Seite gegen einen der Pole gebracht wurden, von diesem wie diamagnetische Körper entschieden abgestossen. Es war dies eine Anomalie, deren Aufklärung ich späteren Versuchen vorbehielt, weil unterdess die Versuche über die Einwirkung der Magnetpole auf die optischen Axen meine ganze Aufmerksamkeit auf kurze Zeit in Anspruch genommen hatten. Diese Versuche, denen ich die frühere Abhandlung gewidmet habe, waren durch die Frage entstanden, worin der Magnetismus gewisser Pflanzentheile seinen Grund habe, und ob nicht vielleicht die Faserrichtung auf die Stellung, welche Pflanzentheile an einem Coconfaden zwischen den beiden Magnetpolen aufgehängt einnehmen, Einfluss habe. Auf diese Frage zurückkommend, liess ich verschiedene Baumrinden schwingen, welche sich sämmtlich magnetisch zeigten, und gelangte hier, als ich insbesondere ein Stückchen Kirschbaumrinde von Rechtecksform, etwa 15^{mm} lang und halb so breit, nahm, zu dem ganz unerwarteten Resultate, dass dasselbe, so aufgehängt, dass es mit Längenrichtung horizontal schwingend zwischen den beiden möglichst genäherten Polspitzen noch eben frei sich bewegen konnte, *sich äquatorial, wie ein diamagnetischer Körper*, wenn aber die Pole weiter von einander entfernt, oder wenn dasselbe über die Linie der Pole gehoben oder unter dieselbe gesenkt wurde, *sich axial, wie ein magnetischer Körper, einstellte.* Es ist offenbar, dass in diesem Versuche, den ich mit verschiedenen Stückchen Kirschbaumrinde bei verschiedener Dimension und Faserrichtung wiederholte, *zwei ganz distincte Kräfte fortwährend in Thätigkeit waren, und dass die eine, die magnetische, mit der Entfernung langsamer abnimmt, als die andere, die diamagnetische.*[2])

5) Aus dem vereinzelten Versuche der vorigen Nummer, den ich schon vor der Abfassung meiner früheren Abhandlung anstellte, schien es mir um so bedenklicher, allgemeine Schlüsse über Magnetismus und Diamagnetismus zu ziehen, als zu befürchten stand, dass bei der complicirten Struktur und chemischen Beschaffenheit der angewandten Substanz irgend eine fremdartige unbekannte Ursache die beobachtete Erscheinung hervorgerufen haben möchte. Neue Versuche mussten darüber entscheiden, ob *alle* Substanzen, die bei einem gewissen Abstande der Pole sich (mit schwacher Kraft) magnetisch einstellen, bei grösserer Annäherung der Pole sich diamagnetisch verhalten, und die nächste Aufgabe war, einfachere Substanzen zu finden, die sich in möglichst geringem Grade magnetisch zeigen. Zu diesem Ende nahm ich Stanniol, das sich (wahrscheinlich in Folge von beigemischtem Eisen) magnetisch verhielt, und schmolz es mit Wismuth zusammen. Bei gehörigem Verhältniss dieser Legirung (mehr Wismuth als Zinn), die ich in Papier zu einer dünnen Stange von etwa 15^{mm} Länge goss, erreichte ich meinen Zweck. Die Stange verhielt sich gerade wie in dem obigen Versuche das Stückchen Kirschbaumrinde, das heisst, *sie stellte sich axial oder äquatorial, je nachdem die Polspitzen mehr oder weniger weit von einander abstanden.* Ich ziehe hieraus den Schluss, dass wir es mit einem allgemeinen Gesetze und nicht bloss mit einer einzelnen Erscheinung zu thun haben. Eine solche ist auch bereits von Herrn De la Rive bei der Kohle beobachtet worden.*) Ich bemerke hierbei, dass, während Herr Faraday die Kohle magnetisch gefunden hat, ich meinerseits sowohl die gewöhnliche Holzkohle als auch die für elektrische Versuche bereitete Buchsbaumkohle diamagnetisch gefunden habe, was keineswegs befremden kann, weil ein Minimum von beigemischtem Eisen, das schon aus dem Organismus herrühren kann, eine Kohle magnetisch machen muss, und es also zwischen

*) Im Junihefte der Bibliothèque universelle, p. 171, wird meine erste Notiz über die Beziehung des Magnetismus zu den optischen Axen, wie sie aus einem Briefe an Herrn Arago vom 14. Juni in den Comptes rendus abgedruckt ist, mitgetheilt, und dann fügt ihr Herr De la Rive die nachfolgende Note bei.

J'ai fait comme M. Plücker un grand nombre d'expériences sur l'action de l'aimant sur les corps. Je me permettrai d'en signaler ici une, qui m'a donné un résultat du même genre que ceux qu'a obtenu M. Plücker; elle est relative à l'action de l'électro-aimant sur le charbon, corps que j'ai trouvé être tantôt magnétique tantôt diamagnétique suivant son état moléculaire et quelquefois aussi suivant sa distance des pôles de l'aimant.

Diese Note ist die Veranlassung, dass ich jetzt schon in dem gegenwärtigen kurzen Aufsatze einen Gegenstand behandle, den ich später im Zusammenhange mit anderen zu discutiren die Absicht hatte.

den von mir und Herrn Faraday untersuchten Kohlen auch solche geben wird, die sich wie die obige Legirung verhalten.

6) Ich halte hiernach für die vorläufig am meisten begründete Hypothese, *dass die magnetischen und diamagnetischen Kräfte neben einander bestehen, und dass, weil die erstere dieser Kräfte langsamer mit der Entfernung von den Polen des Magneten abnimmt, als die letztere, derselbe Körper sich nach Umständen einmal wie ein magnetischer, das andere Mal wie ein diamagnetischer Körper verhalten kann.*[2])

An das Vorstehende knüpfen sich mehrere Fragen an, die in theoretischer Hinsicht von Wichtigkeit sind und neue Gesichtspunkte eröffnen.

Zuvörderst ist eine von Hrn. Faraday aus seinen Beobachtungen gezogene Folgerung widerlegt und dagegen bewiesen, dass es nicht möglich ist, durch Mischung entgegengesetzt sich verhaltender Substanzen eine solche darzustellen, die in Beziehung auf Magnetismus und Diamagnetismus *überhaupt indifferent* ist.

Aus den gewonnenen Resultaten scheint ferner nothwendig zu folgen, dass derselbe Körper, etwa in der Form einer Kugel, in kleinerer oder grösserer Entfernung von einem Magnetpole seiner ganzen Masse nach einmal abgestossen, das andere Mal angezogen werden kann; dass ferner eine kleinere und eine grössere Kugel aus derselben Substanz geformt und beide Mal an einen Magnetpol angelegt, bezüglich abgestossen und angezogen werden können.

7) Unsicherer möchte die Antwort auf die nachstehenden Fragen ausfallen.

Lässt sich das Verhalten jedes diamagnetischen Körpers bei zunehmender Stärke des Magneten durch die Vergrösserung der Entfernung in ein magnetisches umwandeln? Dann würde es *in einer gewissen Entfernung keinen diamagnetischen Körper im Sinne des Herrn Faraday mehr geben.* Ist es hiernach nicht wahrscheinlich, dass, wenn wir je durch eine feinere Aufhängungsweise es dahin bringen sollten, dass alle Körper in Folge des Erdmagnetismus sich richteten, wie sie es in Folge eines nur mässig starken Magneten in der einen oder anderen Weise thun, diese Richtung immer nur die eines magnetischen Körpers sein würde? Wie weit können wir andrerseits auch bei stärker magnetischen Substanzen, indem wir den Mittelpunkt der Wirkung dem Polende möglichst nahe bringen und die Substanz in kleinen Fragmenten anwenden, die magnetische Wirkung schwächen oder dieselbe in die diamagnetische umkehren?

Ist es nothwendig, dass eine Substanz, wenn sie einmal sich magnetisch, das andere Mal sich diamagnetisch verhalten soll, eine Mischung

von magnetischen und diamagnetischen Substanzen ist? Oder kann, was mir nach meiner theoretischen Auffassung einstweilen noch wahrscheinlich vorkommt, auch ein *einfacher Körper* sich ebenso verhalten? Ich halte die directe Beantwortung dieser Frage auf experimentalem Wege vorläufig für nicht möglich, weil die Gewissheit wohl nicht zu erlangen sein möchte, dass solche einfache Körper, die die magnetische und diamagnetische Beschaffenheit, nach Hrn. Faraday, in geringem Grade zeigen, wirklich chemisch rein sind.

8) Wenn wir die in der gegenwärtigen Abhandlung beschriebenen Beobachtungen mit denjenigen, die ich in meiner vorigen Abhandlung beschrieben habe, in Verbindung bringen, so ergiebt sich, dass von der dreifachen Wirkung, die von den Polen eines Magneten ausgeht, nämlich:

1) der magnetischen Wirkung im engeren Sinne,
2) der von Herrn Faraday entdeckten diamagnetischen Wirkung,
3) der auf die optischen Axen der Krystalle stattfindenden Wirkung (und der ihr wahrscheinlich entsprechenden, welche die Drehung der Polarisationsebene hervorbringt)*),

die zweite rascher mit der Entfernung abnimmt als die erste, und die erste rascher als die dritte.

---

9) Bei der Durchsicht der vorstehenden Abhandlung kam mir die Vermuthung (wobei die Schlussreihe am Ende der 5. Nummer im Allgemeinen ihre Richtigkeit behält), dass Hr. Faraday die Kohle deshalb magnetisch, und ich die Kohle deshalb diamagnetisch gefunden habe, weil er dieselbe bei grösserer und ich bei kleinerer Entfernung der Pole schwingen liess. Ueberdies erschien es mir wünschenswerth, das allgemeine Resultat der 6. Nummer durch neue Beobachtungen zu bestätigen. Darum stellte ich noch die folgenden Versuche an, wobei ich wieder in der in der früheren Abhandlung beschriebenen Weise verfuhr, aber zehn schwach geladene Grove'sche Elemente statt der früheren fünf nahm.

10) Zuvörderst fand ich meine Vermuthung vollkommen bestätigt; ich versuchte nach einander vier verschiedene Stückchen Kohle, die sämmtlich sich ganz übereinstimmend verhielten und, je nachdem die

*) Die anscheinend gleiche Beleuchtung respective gleiche Färbung des ganzen Gesichtsfeldes nach der Drehung der Polarisationsebene in den Versuchen des Herrn Faraday beweist, dass die hier beobachtete Wirkung nicht sehr rasch mit der Entfernung abnimmt[8]).

Entfernung der Polenden grösser oder kleiner war, sich magnetisch oder diamagnetisch einstellten. Ich will nur einen Versuch detailliren.

Eines dieser Kohlenstückchen (gewöhnliche Holzkohle) war cylindrisch, ungefähr 14 ^{mm} lang und 6 ^{mm} dick. Bei einer Entfernung der Polspitzen von 17 ^{mm} stellte es sich äquatorial ein, wurde es aber um 24 ^{mm} über die Linie der Polspitzen gehoben, so ging die äquatoriale Lage in die axiale Lage über, in welcher es auch noch bei einer Erhebung von 54 ^{mm} entschieden festgehalten wurde. Wurden ferner die beiden Polspitzen bis auf 55 ^{mm} von einander entfernt, so stellte es sich, in der Mitte zwischen beiden aufgehängt, axial, aber in einem Drittel der Entfernung aufgehängt, äquatorial. Die letzte Beobachtung, dass derselbe Körper bei derselben Entfernung der Polspitzen an verschiedenen Stellen dieser Entfernung sich einmal wie ein magnetischer, das andere Mal wie ein diamagnetischer Körper verhält, konnten wir aus unserer Auffassungsweise vorhersagen.

11) Ein Stückchen trocknes Apfelbaumholz und zwei nach verschiedener Richtung geschnittene Stückchen Tannenholz zeigten sich zwischen den bis auf 17 ^{mm} genäherten Polspitzen stärker diamagnetisch, als die Kohle, stellten sich aber bei einer Erhebung entschieden, obwohl schwach magnetisch ein.

Ein cylindrisches Stückchen Meliszucker, 19 ^{mm} lang und 8 ^{mm} dick, zeigte den Uebergang von der äquatorialen Lage in die axiale recht gut.

12) Ein frischer vorjähriger Schuss eines Mandelbaums, 15 ^{mm} lang, verhielt sich bei einer Entfernung der Polspitzen von 16 ^{mm} diamagnetisch und blieb es bei jeder Erhebung; die ganze Abschälung desselben verhielt sich ebenfalls diamagnetisch, warf sich aber bei einer Erhebung von 24 ^{mm} in die magnetische Lage herum.

Ein vorjähriger Schuss einer Cypresse, 16 ^{mm} lang, verhielt sich bei jeder Erhebung diamagnetisch, ebenso die ganze Abschälung. Die äusserste braune Rinde allein war aber, so lange sie frei zwischen den beiden Polspitzen schwingen konnte, entschieden magnetisch.*) Wenn man die Polspitzen bis auf 6—7 ^{mm} einander annäherte und das Stückchen

*) Ein allgemeines Resultat, zu dem ich gleich zu Anfang meiner Experimentaluntersuchungen gelangt bin, das ich hier aber nur andeuten kann, besteht darin, dass die äusserste Rinde aller Pflanzen magnetisch ist. —

Alle derartigen Versuche, die ohne Kenntniss der im gegenwärtigen Aufsatze mitgetheilten Resultate angestellt worden sind, müssen, ohne dass die allgemeinen Folgerungen ihre Richtigkeit verloren hätten, im Einzelnen nothwendig unbestimmt und ungenau sein und bedürfen einer Wiederholung unter dem neuen Gesichtspunkte.

Rinde dazwischenbrachte, richtete es sich sehr stark diamagnetisch und *wurde sogar aus der Linie der Polspitzen herausgeworfen.* Um 4—5 mm gehoben, stellte es sich wieder magnetisch.

13) In einem Hühnerei findet sich nur in der weissen Haut, welche die Schaale inwendig bekleidet, Magnetismus. Ein Stückchen dieser Haut verhielt sich zwischen den Polspitzen ebenfalls je nach der Entfernung magnetisch oder diamagnetisch.*)

*) Um die oben beschriebenen Resultate mit Sicherheit zu erhalten, ist es unerlässlich, und zwar um so mehr, je leichter der aufgehängte Körper ist, diesem weder mit eisernen Instrumenten die gewünschte Form zu geben (ich bediente mich dazu zuletzt immer des Glases), noch auch denselben mit den Fingern anzufassen, wenn man mit diesen vorher Eisen berührt und sie nicht wieder abgewaschen hat. Ein mit einer Eisenfeile behandeltes Stück trockener Holzkohle war unter allen Verhältnissen magnetisch.

4.

Experimental-Untersuchungen über die Wirkung der Magnete auf gasförmige und tropfbare Flüssigkeiten.*)

(Annalen der Physik und Chemie. Bd. 73, S. 549—581. 1848.)

1) Für die gegenwärtige dritte Mittheilung wähle ich aus meinen die Wirkung der Magnete betreffenden Experimental-Untersuchungen zwei Klassen von Erscheinungen aus, von welchen sich die eine auf das magnetische oder diamagnetische Verhalten der *tropfbaren Flüssigkeiten*, die andere auf das Verhalten der *Gase* gegen den Magneten bezieht. Um das erstere zu beobachten, habe ich ein anderes Verfahren angewendet, als Hr. Faraday; ich beobachte die Bewegungen der verschiedenen Flüssigkeiten über den genäherten Polen des Magneten und die dadurch hervorgebrachten Aenderungen der Form ihrer Oberfläche. Wenn, wie beim Blute, in der Flüssigkeit kleine Körperchen schwimmen, so können wir, um die fraglichen Bewegungen zu beobachten, mit Vortheil das Mikroskop zu Rathe ziehen. Ueberall habe ich hier die Faraday'schen Resultate bestätigt gefunden. Ein Anderes ist es aber mit dem Verhalten der gasförmigen Körper, wo meine Versuche mich zu Resultaten geführt haben, die der von dem genannten Physiker aufgestellten Behauptung, dass Körper, sobald sie in den gasförmigen Aggregatzustand übergehen, gegen Magnetismus indifferent werden, geradezu widersprechen. Ich theile diese Versuche mit derjenigen Anspruchslosigkeit mit, die mir diesem grossen Experimentator gegenüber geziemt.

---

*) „Ich beeile die Uebersendung dieser Abhandlung", — sagt der Hr. Verf. in dem begleitenden Schreiben an mich [Poggendorff] vom 22. Jan. — „weil merkwürdigerweise gerade im Moment, als ich das letzte Wort der Reinschrift des ersten Theils niederschrieb, mir berichtet wird, dass Herr Faraday so eben ähnliche Untersuchungen geliefert habe.[1]) Ich schicke die meinigen ab, ohne von denselben etwas zu wissen, und hoffe, dass sie neben denselben noch einen Platz verdienen." — [Anmerkung Poggendorff's.]

2) Zu meinen Versuchen bediente ich mich des bereits in der zweiten Nummer meiner ersten Abhandlung*) beschriebenen Hufeisenelektromagneten, der, aufrecht stehend, mit seinen Polflächen nach oben gekehrt ist. Auf diese wurden, um die magnetische Spannung in verschiedener Weise durch Annäherung der Pole vergrössern zu können, abgeschliffene Eisenstücke von verschiedener Form aufgelegt, die, paarweise zusammengestossen, als Anker dienten. *Erstens* zwei parallelepipedische Halbanker (A), die schon in der 44. Nummer der angeführten Abhandlung erwähnt worden sind, 27^{mm} hoch, 67^{mm} breit und 198^{mm} lang. *Zweitens* zwei Halbanker (B) so hoch wie die vorigen, so breit wie die Polflächen der Magnete und 176^{mm} lang; an der einen Seite kreisförmig abgerundet, an der andern so verjüngt, dass die Endflächen Kreise von 25^{mm} Durchmesser sind [Fig. H, Tafel I]. Auf diese können Stücke von verschiedener Form, namentlich konische Spitzen, eingeschraubt werden. Diese beiden Halbanker ersetzen, auch für die in den beiden vorigen Abhandlungen beschriebenen Versuche, mit Vortheil die beiden durchbohrten cylindrischen Aufsätze mit den eingesteckten zugespitzten Cylindern. Auch bei der stärksten magnetischen Erregung und der grössten Annäherung der konischen Spitzen schlagen diese Halbanker nicht zusammen. *Drittens* zwei schwerere, zunächst für optische Zwecke bestimmte Halbanker (C), 40^{mm} hoch, 133^{mm} breit und 203^{mm} lang, an einem Ende kreisförmig abgerundet, am andern sich allmälig verjüngend und in eine rectanguläre Fläche von 40^{mm} und 59^{mm} Seite auslaufend [J, Tafel I]. In der Mitte dieser beiden Halbanker ist, ihrer ganzen Länge nach, eine Rinne eingehobelt, die, 20^{mm} weit und eben so tief, einen Querschnitt hat, der unten halbkreisförmig ist. Die Halbanker (A) und (C) schlagen bei stärkerer Erregung und hinlänglicher Annäherung mit grosser Gewalt zusammen, sie werden durch dazwischengebrachte Messingstücke von verschiedener Dicke von einander gehalten.

Auf dem verschiebbaren Tische mit den beiden runden Oeffnungen, durch welche die Schenkel des Magneten hindurchgehen, steht bei den Versuchen mit den frei aufsteigenden Gasen in der Regel, die Pole überdeckend, der viereckige Glaskasten der Torsionswaage, welcher nach Hinwegnehmung dieser letzteren oben in der Mitte eine Oeffnung hat, die ein Rechteck bildet, das nach der äquatorialen Richtung (der Breite des Kastens entsprechend) 254^{mm} lang und nach der axialen Richtung 92^{mm} breit ist.

Bei den in dem Nachstehenden beschriebenen Versuchen bediente

---

* Poggendorff's Annalen, Bd. 72, S. 315. [Ges. Werke II, S. 7.]

ich mich fünf bis zehn Grove'scher Elemente, indem ich die grössere Anzahl in der Regel dann nur wählte, wenn die angewandte Salpetersäure bereits öfters gedient hatte.

§ 1.

Ueber den Diamagnetismus der Gase.

3) Hr. Faraday widmet die 2400te bis 2416te Nummer der 21. Reihe von Experimental-Untersuchungen über Elektricität*) dem Verhalten der Gase gegen den Magneten und gelangt in der letzten Nummer zu dem folgenden Resultate.

> „Was für chemische oder andere Eigenschaften die Gase auch haben mögen, wie verschieden im specifischen Gewicht und im Grade der Verdünnung sie auch sein mögen, so sind sie doch alle in ihrem magnetischen Verhalten einander gleich und anscheinend einem vollkommenen Vacuum äquivalent. Körper, welche ausgezeichnet diamagnetisch sind, verlieren sogleich alle Spuren dieser Eigenschaft, so wie sie dampfförmig werden."

4) Hr. Faraday stellt seine Versuche in der Art an, dass er eine anfänglich offene, gegen den Magneten möglichst indifferente Glasröhre, die er, nachdem er aus ihr die Luft fortgenommen hat, zuschmilzt, vorher und nachher in freier Luft zwischen den Polen schwingen lässt. Er findet keinen Unterschied, auch dann nicht, wenn er die Röhre in verschiedenen Gasen schwingen lässt und mit verschiedenen Gasen füllt. Eben so wenig findet er einen Unterschied, wenn er die Röhre mit oder ohne Gas in Wasser, Alkohol und Terpentinöl, oder wenn er endlich einen festen diamagnetischen Körper, schweres Glas oder einen Wismuthstab, in verschiedenen und verschieden comprimirten Gasen schwingen lässt. Beim ersten Durchlesen der Beschreibung dieser Versuche leuchtete mir aus mechanischen Gründen ein, dass, wenn überhaupt in irgend einem dieser Versuche eine Wirkung sich zeigen sollte, die Gase in einem ganz enormen Grade magnetisch oder diamagnetisch sein müssten. Denn die magnetische oder diamagnetische Kraft einer Materie muss offenbar mit der Verdünnung der Materie abnehmen. Wir wollen, rein hypothetisch, für einen Augenblick jene Abnahme und diese Verdünnung einander proportional setzen, wie es bei Anziehungskräften und auch, was hier näher liegt, bei der Drehung der Polarisationsebene in Flüssigkeiten der Fall ist, wo zum Beispiel in einer Zuckerlösung die Grösse dieser Drehung sich wie die Menge des

*) Poggendorff's Annalen, Bd. 70, S. 39.

aufgelösten Zuckers verhält. Eine magnetisch indifferente Röhre ganz mit Wasser gefüllt und in Wasser horizontal schwingend aufgehängt, nimmt zwischen den Magnetpolen keine bestimmte Stellung an, weil diejenige Kraft, welche das Wasser im Innern der Röhre in die äquatoriale Lage treibt, durch die diamagnetische Erregung des umgebenden Wassers aufgewogen wird. Ist in der horizontal schwingenden Röhre nur halb so viel Wasser als ursprünglich, das dann bei derselben Länge nur den halben Querschnitt hat, so wird die zweite Kraft überwiegend. Es wird die Röhre in die axiale Lage getrieben und in dieser Lage festgehalten mit einer Kraft, die der Hälfte derjenigen diamagnetischen Kraft gleich ist, die auf die ganze Masse des in der Röhre ursprünglich sich befindenden Wassers wirkt, und die wir als Einheit nehmen wollen. Bliebe in der Röhre, nach der Längenrichtung derselben gleichmässig vertheilt, nur $\frac{1}{1800}$ des ursprünglichen Wassers, so würde die Röhre in der axialen Lage mit einer Kraft, die $\frac{1799}{1800}$ beträgt, festgehalten werden, und diese Kraft würde der Einheit selbst gleich werden, wenn durchaus kein Wasser mehr in der Röhre sich befände. Der Unterschied dieser beiden Kräfte, der nur $\frac{1}{1800}$ der Grösse derjenigen diamagnetischen Kraft beträgt, die ursprünglich auf das in der Röhre befindliche Wasser wirkt, wird sich, selbst abgesehen von dem Widerstande in der umgebenden Flüssigkeit, niemals durch die Drehung der Röhre nachweisen lassen. Wenn im Innern der Röhre die Wassermasse $\frac{1}{1800}$ in die Dampfform überginge, so würde, unter der Voraussetzung, dass die Wirkung des Magneten auf die Dampfmolecüle dieselbe wäre wie auf die Wassermolecüle, durchaus nichts sich ändern. Der Diamagnetismus des Wasserdampfes wird also auf diesem Wege wohl niemals nachgewiesen werden können.

Ein Aehnliches findet statt bei allen andern zu Anfang dieser Nummer angeführten Versuchen.

5) „Ich habe“, sagt Hr. Faraday, „einen Versuch mit Cagnard de la Tour's Aetherröhren erdacht, fürchte aber bei seiner Ausführung grosse Schwierigkeiten anzutreffen, hauptsächlich wegen der Stärke, und also der Masse, welche für die Röhre nöthig ist, um der Expansion des eingeschlossenen erhitzten Aethers zu widerstehen“ (2435)*). Wenn es der Experimentirkunst des Hrn. Faraday gelingen sollte, die Schwierigkeiten dieses Versuches zu überwinden, so erhielten wir eine direkte

*) Poggendorff's Annalen, Bd. 70, S. 51.

entscheidende Antwort auf die Frage, ob diamagnetische Flüssigkeiten, nachdem sie in Dampfform übergegangen sind, ihren Diamagnetismus verlieren. Hr. Faraday setzt eine bejahende Antwort voraus; ich hingegen möchte auf Grund der im Nachfolgenden beschriebenen Versuche eine verneinende Antwort mit Zuversicht erwarten.

6) Um meinerseits die Frage über den Diamagnetismus der Gase zur Entscheidung zu bringen, suchte ich zuerst die Masse der dieselben einschliessenden Hülle möglichst zu vermindern, und so kam ich unter Anderem auch auf den Gedanken, für diese Hülle eine Seifenblase zu nehmen. Ich legte in einem vorläufigen Versuche auf die beiden einander genäherten Polflächen des Elektromagneten ein Glimmerblättchen, und brachte auf dieses eine Seifenblase, die die Form einer Halbkugel annimmt, fand aber keine Einwirkung des Magneten auf die Form dieser Seifenblase, und zwar eben so wenig, wenn dieselbe mit Luft, als wenn sie mit Tabaksrauch gefüllt war. Hiernach gab ich es ganz auf, die Gase einzuschliessen, und da boten sich mir, um über den magnetischen, diamagnetischen oder neutralen Zustand der Gase zu entscheiden, die *gefärbten* Gase unmittelbar dar.

7) Ich legte die beiden Halbanker B (siehe die 2. Nummer) mit den eingeschraubten konischen Spitzen so auf die Polflächen, dass der Abstand dieser beiden Spitzen 3,5 ^{mm} betrug. Unter dieselben brachte ich eine vorher erwärmte Platinplatte und überdeckte das Ganze mit dem oben offenen Kasten der Torsionswaage. Es wurden Jodstückchen auf die Platinplatte gelegt, und der Magnetismus wurde durch Schliessen der Kette dann hervorgerufen, als eine gerade schmale Säule von Joddämpfen zwischen den Polspitzen senkrecht in die Höhe stieg. Augenblicklich theilte sich, in der Höhe der Polspitzen, diese bisher gerade steigende Säule, so dass sie in der Aequatorialebene eine Parabel bildete, die namentlich auf der concaven Seite, wo die violette Farbe am intensivsten war, mit ungemeiner Schärfe sich abzeichnete und bis zu einer Erhebung von 100 bis 150 ^{mm} noch vollkommen scharf blieb. Einer ähnlichen Form, gebildet von dem Russe der Terpentinflamme, werden wir später begegnen, und da ich von dieser eine Abbildung beigefügt habe, kann ich dieses hier unterlassen.

Der in dieser Nummer beschriebene Versuch beweist unzweifelhaft, *dass die Joddämpfe von den beiden Polen eines Magneten abgestossen werden.*

8) Dasselbe finden wir bestätigt, wenn wir die beiden parallelepipedischen Halbanker (A) mit ihren breiten Flächen auflegen. Bringen wir alsdann aufsteigende Joddämpfe zwischen die beiden Polflächen der Halbanker, so werden dieselben seitwärts (nach äquatorialer Rich-

tung) hinausgetrieben, und wenn sie an der Seite derselben aufsteigen, nach Aussen hin abgestossen. Die Wirkung zeigt sich am stärksten, wenn wir, um die magnetische Spannung zu vermehren, die beiden Anker wiederum auf 3 ^{mm} bis 4 ^{mm} annähern.

9) Bei der Deutung der in den vorigen beiden Nummern gewonnenen Resultate dürfen wir nicht ausser Acht lassen, dass die Joddämpfe von Luft umgeben sind. Diese Joddämpfe sind, in Gemässheit der Abstossung, welche sie von den Polen des Magnets erfahren, entweder diamagnetisch und dann stärker diamagnetisch als die Luft, wenn diese überhaupt es ist oder indifferent sich verhält; oder aber sie müsste, wenn die Luft magnetisch sein sollte, wo nicht diamagnetisch, doch schwächer magnetisch sein als diese*). Die erste der beiden Annahmen, dass beide, der Joddampf sowohl als die Luft, diamagnetisch seien, wird durch den Versuch der 11. Nummer namhaft an Wahrscheinlichkeit gewinnen.

10) In einen Glaskolben mit kurzem Halse, der so ausgezogen war, dass er nur eine Oeffnung von ungefähr 3 ^{mm} Durchmesser behalten hatte, wurden einige Tropfen *Brom* gebracht. Der Glaskolben wurde dann mit seiner Oeffnung dicht unter die 3,5 ^{mm} von einander entfernten Polspitzen gestellt, durch eine Alkohollampe erwärmt und der Magnetismus dann erregt, als die Dämpfe bereits ausströmten. Die aufsteigende Dampfsäule war nicht so stetig und regelmässig, als beim Jod, wurde aber in der Aequatorialebene nach derjenigen Seite von den Spitzen aus abgestossen, auf welcher sie vor der Erregung des Magnetismus vorbeiging.

Die Bromdämpfe verhalten sich im Allgemeinen also wie die Joddämpfe.

10a) Chlordämpfe, durch Braunstein, Kochsalz und concentrirte Schwefelsäure entwickelt, wurden ebenfalls abgestossen.

11) In denselben Glaskolben wurden ferner bei gleicher Adjustirung Stücke von Kupferdraht gebracht, und dann Salpetersäure darauf gegossen; die sich entwickelnden salpetersauren Dämpfe strömten mit abwechselnder Gewalt aus der Oeffnung heraus. Eine Abstossung der-

*) Die merkwürdigen Versuche von Hrn. Faraday, bei denen er eine mit einer Lösung von Eisenvitriol gefüllte Glasröhre in eben einer solchen Auflösung zwischen Polen aufhängte und schwingen liess, und dann die Röhre sich axial oder äquatorial einstellte, also magnetisch oder diamagnetisch sich verhielt, je nachdem die Lösung im Innern oder ausserhalb stärker war, lassen sich auch ohne besondere Vorsicht leicht wiederholen. Ich habe dazu Röhren von dünnerem Glase genommen, 20 ^{mm} weit und etwa 125 ^{mm} lang, dieselben durch Kalbsblase verschlossen und keine Anker aufgelegt.

selben wurde sogleich bemerkbar, dann aber zeigte sich auch, als die Dämpfe in der Form eines Cylinders von etwa 4^{mm} gerade zwischen den Polspitzen aufstiegen, dass dieselben oberhalb der Polspitzen in der Aequatorialebene in Form einer Parabel sich ausbreiteten, deren Scheitel etwas oberhalb der Mitte zwischen den Polspitzen lag, und deren Axe die Fortsetzung der Richtung des ursprünglichen Gasstromes war. Der Gasstrom behielt in der Aequatorialebene den ursprünglichen Durchmesser ungefähr bei, flachte sich aber senkrecht gegen diese bis etwa auf die Hälfte ab. Im ganzen Querschnitt des parabolischen Stroms schien das Gas fast gleichmässig verbreitet. Derselbe stieg, obwohl weniger scharf begrenzt als beim Jod, doch 60^{mm} bis 80^{mm} regelmässig in die Höhe.

Das salpetrigsaure Gas verhält sich im Allgemeinen also wie die Jod-, Brom- und Chlordämpfe.

12) Der Versuch der vorigen Nummer nimmt besonders deshalb unsere Aufmerksamkeit in Anspruch, weil in dem salpetrigsauren Gase dieselben Bestandtheile wie in der *Luft* sich befinden, nur in andern Proportionen und condensirt. Wäre das Gas bloss *verdichtete Luft*, so würde die Abstossung desselben in der gewöhnlichen Luft unwidersprechlich beweisen, dass beide, die Luft und das Gas, diamagnetisch sind. Denn die verdichtete Luft wird nothwendig stärker von dem Magnete, sei es magnetisch oder diamagnetisch, afficirt als die gewöhnliche, und aus der Abstossung der ersteren würde folgen, dass die Wirkung auf Luft überhaupt eine *diamagnetische* ist. (Ganz aus demselben Grunde sinkt im Wasser ein dichterer, mehr Masse haltender Stein zu Boden, während er steigen würde, wenn die Anziehung der Erde in eine Abstossung sich verwandeln sollte. Weil die Kraft der Schwere gleichmässig auf die Masse des Steines und die Masse des Wassers wirkt, so schliessen wir aus dem Sinken des ersteren, dass die Kraft der Schwere anziehend und nicht abstossend wirkt.)

Nach einem allgemeinen Princip, das Hr. Faraday (für feste und tropfbarflüssige Körper) aufgestellt hat, verhält sich jede mechanische oder chemische Verbindung bloss diamagnetischer Körper nothwendig diamagnetisch, jede Verbindung bloss magnetischer Körper magnetisch. Wenn wir dieses Princip auch auf gasförmige Körper übertragen, so wäre durch den Versuch der vorigen Nummer streng nachgewiesen, dass, wenn Stickstoffgas und Sauerstoffgas sich *gleich* gegen den Magneten verhalten, das Verhalten beider, so wie das Verhalten der Luft und des salpetrigsauren Gases ein *diamagnetisches* sein müsse. Wenn aber die Luft magnetisch sich verhalten sollte, so müsste eines der beiden Gase, das Sauerstoffgas oder das Stickstoffgas, und zwar das-

jenige wohl, welches im salpetrigsauren Gase im Vergleiche mit der Luft vorherrscht, also das erstere, diamagnetisch, das andere magnetisch sein. Diese letztere Voraussetzung hat durchaus keine Wahrscheinlichkeit für sich, wir können vielmehr mit vieler Sicherheit annehmen, dass die Luft diamagnetisch ist[2]), und dieser Annahme wollen wir in dem Nachfolgenden unsere Ausdrucksweise anpassen.

13) Der *sichtbare Wasserdampf*, der freilich nicht mehr als ein eigentliches Gas zu betrachten ist, wird ebenfalls von dem Magnete abgestossen. Es wurde derselbe in einem zur Bestimmung des Siedepunktes des Wassers dienenden Gefässe entwickelt und durch einen längeren Trichter zwischen die Polspitzen, deren Entfernung die frühere geblieben war, geleitet. Die Abstossung zeigte sich ganz gut, auch ohne dass der Kasten der Torsionswaage übergedeckt war, was der Dampfentwicklungsapparat nicht gestattete.

Wurde der Wasserdampf auf dieselbe Weise zwischen den beiden bis auf 3,5^{mm} genäherten parallelepipedischen Halbankern (A) zum Aufsteigen gebracht, so zog er sich im Moment des Schliessens der Kette, aus der Mitte zwischen denselben herausgestossen, seitwärts in der Aequatorialebene hin.

Der Wasserdampf ist also auch stärker diamagnetisch als die Luft.

13a) Um den *Quecksilberdampf* in Beziehung auf den Magneten zu untersuchen, wurde in folgender Weise verfahren. Der Leitungsdraht, welcher vom Platinende einer zwölfelementigen Säule ausging, wurde in ein Gefäss mit Quecksilber geleitet, das unmittelbar unter den Polspitzen stand, während der Leitungsdraht, welcher vom Zinkende ausging, um den Eisenkern des Magneten lief, und erst dann in das Quecksilber eintauchte. Die Kette wurde dadurch geöffnet, dass der *erste* Leitungsdraht aus dem Quecksilber herausgezogen wurde, und dann wieder geschlossen, wenn der den Trennungsfunken begleitende Quecksilberdampf zwischen den Polspitzen aufstieg. Alsdann zeigte sich die erwartete Abstossung: *also ist auch der Quecksilberdampf stärker diamagnetisch als die Luft.*

14) Da die verschiedenen *Flammen* nichts anderes sind, als die bei dem Verbrennungsprocesse erzeugten, im glühenden Zustande befindlichen Gase, mit oder ohne beigemischte glühende feste Stoffe, so war es von Interesse, auch diese der Einwirkung des Magneten auszusetzen. Hierbei ergaben sich sehr hübsche Erscheinungen, die eine grosse Mannigfaltigkeit darboten, je nachdem einerseits die Form der Pole und die Entfernung derselben von einander verändert, und andererseits verschiedenartige Flammen genommen wurden. Wenn die Anker (B) mit den eingeschraubten konischen Spitzen aufgelegt wurden,

zeigten sich die überraschendsten Erscheinungen, und diese will ich vorzugsweise beschreiben*).

15) Wenn eine gewöhnliche *Stearinkerze* so in die Mitte zwischen die beiden, bis auf 15^{mm} einander genäherten Polspitzen gebracht wurde, dass diese in zwei Drittheile der Höhe der Flamme sich befanden, so wurde diese Flamme herabgedrückt und in der Aequatorialebene breitgezogen. Ihre Form ist die in Fig. 1 abgebildete Aequatorialansicht (von der Seite eines der beiden Pole genommen); Fig. 1a ist der senkrechte axiale Durchschnitt der Flamme.

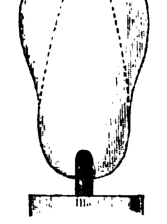


Fig. 1.

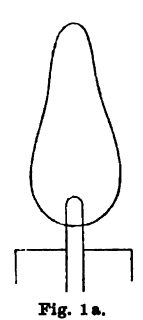


Fig. 1a.

Wurde die Flamme aus der axialen Linie seitwärts herausgerückt, so wurde sie nach derjenigen Seite hin fortgestossen und gebeugt, auf der sie sich befand. Aus der Aequatorialebene fortgerückt und einem der beiden Pole genähert, wurde sie nach dieser Ebene zurückgetrieben.

16) *Eine ruhig brennende, keinen Russ absetzende Talgkerze* verhält

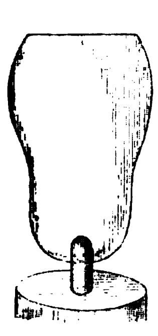




Fig. 2.

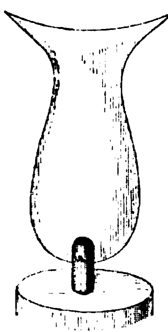


Fig. 3.

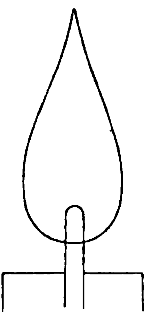


Fig. 3a.

sich ähnlich wie die Stearinkerze. Unter gleichen Umständen gab eine solche bei demselben Polabstande von 15^{mm} die in Fig. 2 dargestellte

*) Hr. Zantedeschi hat der Akademie der Wissenschaften zu Paris vor Kurzem die Mittheilung gemacht, dass in der Nähe der Magnetpole verschiedene Flammen abgestossen und niedergedrückt werden. Ich glaubte hierin sogleich eine diamagnetische Wirkung zu erkennen, und dieser Umstand, in Verbindung mit den theoretischen, in der 4. Nummer entwickelten Betrachtungen gaben dem ersten Theile der gegenwärtigen Abhandlung seine Entstehung. Bei den Versuchen unterstützten mich treulich die beiden Assistenten des physikalischen Kabinets, der Candidat des höheren Schulamts Hr. vom Kolke und der Studirende Hr. Beer; die nach der Natur ausgeführten Zeichnungen rühren namentlich von Letzterem her.

Aequatorialansicht. Nach oben lief die Flamme in einen scharfen Keil mit geradliniger Schneide aus.

17) Bei einer grösseren Annäherung der Polspitzen nimmt die Erscheinung andere Formen an; bei allen Versuchen, die ich in dem Nachstehenden beschreiben werde, ist, wo nicht ausdrücklich es anders bemerkt ist, die constante Entfernung der Polspitzen von $3{,}5^{mm}$ festgehalten worden.

Wenn die frühere Talgkerze so zwischen die Polspitzen gebracht wurde, dass diese in $^7/_8$ der Höhe der ursprünglichen Flamme sich befanden, so ergab sich die Aequatorialansicht der dritten Figur. Fig. 3a ist der entsprechende axiale Durchschnitt.

Wenn die Polspitzen in der Mitte der Höhe der ursprünglichen Flamme sich befanden, so zeigte sich die Aequatorialansicht der vierten Figur. Fig. 4a stellt den senkrechten axialen Durchschnitt dar, und Fig. 4b ist eine Ansicht von oben, wo die Flamme die Form eines

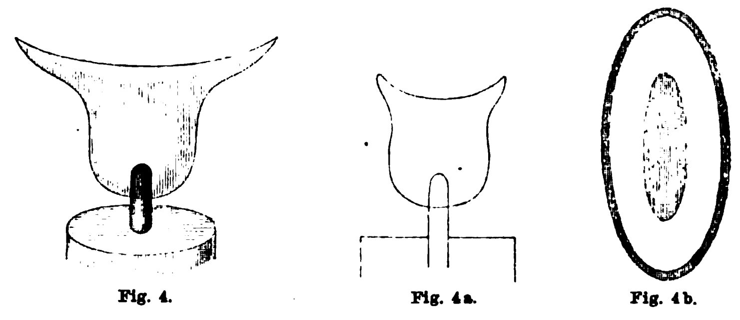


Fig. 4. Fig. 4a. Fig. 4b.

elliptischen Ringes hat, von einem schmalen, schwach leuchtenden Rande umgeben, und selbst einen dunklen Raum umschliessend.

Wenn die Talgkerze so viel wie möglich gehoben wurde, wo dann die beiden Polspitzen mit dem oberen Ende des Dochtes in gleicher Höhe sich befanden, und die Flamme, durch die eisernen Polspitzen

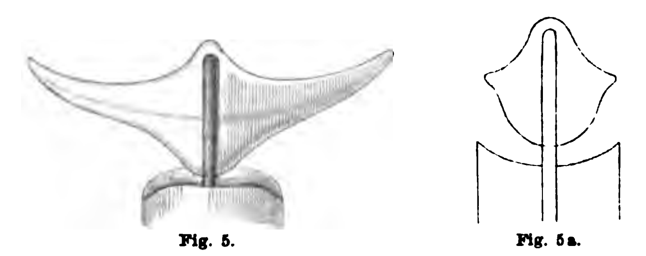


Fig. 5. Fig. 5a.

abgekühlt, nicht mehr mit vollem Lichte brannte, so erhielt dieselbe im Momente des Schliessens der Kette nicht nur ihr früheres Licht ganz wieder, sondern brannte stärker, indem sie heruntergedrückt

wurde und in der Aequatorialansicht die Form der fünften Figur annahm. Ein senkrechter axialer Durchschnitt ist in Fig. 5a dargestellt.

18) Da sich die Talgkerze höher nicht bringen liess, wurde eine dünnere *Wachs-* und *Stearinkerze* genommen, und statt der konischen Spitzen zwei andere eingeschraubt, die nach unten durch eine dreieckige ebene Fläche begrenzt waren. Wurden diese Kerzen, deren Flammen kürzer waren, allmälig immer höher gebracht, so waren die Erscheinungen ganz ähnlich, bis zuletzt, wenn die Polspitzen etwa mit der Mitte des Dochtes in gleicher Höhe waren, die der fünften Figur entsprechende Form, indem ihre Spitzen sich immer tiefer hinabzogen, in die Form eines kleinen, sehr scharf gezeichneten Kahnes überging, wobei der Docht die Segelstange in der Mitte vertrat, von der die Segel, weniger leuchtend als der Kahn selbst, zeltartig nach dem Borde desselben sich herabzogen.

19) Bei den Versuchen mit der Talgkerze haben wir die ausdrückliche Bedingung gestellt, dass dieselbe keinen Russ absetze. Ein *stark russendes* (schwalchendes) *Talglicht* bietet ganz andere Erscheinungen dar. Wenn sich insbesondere die beiden Polspitzen in $^3/_4$ der Höhe der ursprünglichen Flamme befanden, so ergab sich beim Schliessen der Kette die in der sechsten Figur dargestellte Aequatorialansicht, wobei die linearen Dimensionen auf ein Viertel reducirt sind. Der aufsteigende graue Qualm breitete sich, bei einer Dicke von 7^{mm}, in der Aequatorialebene bedeutend aus. Er wurde auswärts von einer Parabel scharf begrenzt, deren Scheitel *o* genau in die Mitte zwischen den beiden Polspitzen fiel, und die ihre Regelmässigkeit längere Zeit und bis zu einer Erhebung von 190^{mm} behielt. Nach innen war die Begrenzung, obwohl nach Parabelform strebend, doch unregelmässiger und wellenförmig wechselnd. Hellere Rauchwolken wirbelten von Zeit zu Zeit in dem inneren Raume unregelmässig auf. In einer Erhebung von mehr als 190^{mm} stieg der Rauch nicht mehr gleichförmig, sondern wie eine gewöhnliche Rauchsäule auf. Die Flamme selbst, die herabgedrückt und in der Aequatorialebene ausgebreitet war, lehnte sich an die äussere Begrenzung des Rauches, an der sie, parabolisch ausgehöhlt und Spitzen (*s*, *s*) bildend, in scharfer Zeichnung sich hinaufzog, und war auch auf der äusseren Seite durch einen schmalen dunkleren Gasstreifen, der da, wo die Flamme aufhörte, in die Rauchsäule überging, begrenzt.

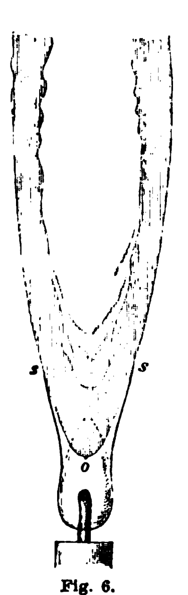


Fig. 6.

20) Endlich erwähne ich noch der Erscheinung, die eine *Terpentinflamme* darbot. Es wurde nämlich in die wenig tiefe Aushöhlung eines Porcellannäpfchens ein schmaler Docht lemniskatenförmig ausgebreitet, Terpentinöl darauf gebracht und dasselbe angezündet. Es gab eine, auf der ganzen Oberfläche des Terpentinöls aufstehende, ziemlich ruhig brennende, stark Russ absetzende Flamme. Die Polspitzen reichten noch in den oberen Theil der Flamme hinein, deren grösster Durchschnitt mit der Aequatorialebene zusammenfiel. Beim Schliessen der Kette wurde die Flamme in der Mitte 3^{mm} bis 4^{mm} unter die Höhe der Polspitzen herabgedrückt; ihre ganze obere Begrenzung hatte eine ganz ähnliche Form wie in dem zuletzt beschriebenen Versuche. Die mit aufsteigende Kohle vereinigte sich zu einer schwarzen scharf gezeichneten Linie, die die obere Begrenzung der Flamme bildete und als regelmässige Parabel bis zu 180^{mm} aufstieg und von hier, spiralförmig sich erweiternd, noch ungefähr um eine gleiche Höhe die parabolische Bahn verfolgte und dann in unbestimmter Rauchform ausserhalb des Kastens sich verlor. [Siehe Fig. 7.]

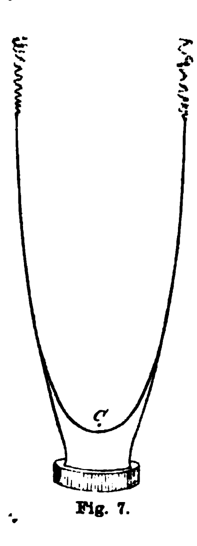


Fig. 7.

21) Die bei der Terpentinflamme eben beschriebene Parabel zeichnete sich mit ähnlicher Schärfe auch dann, wenn ein Stück *Zunder* (Feuerschwamm) unter die Polspitzen gebracht und angezündet wurde. Während dasselbe, ohne mit einer Flamme zu brennen, verkohlte, stiegen schmale dichte Rauchsäulen auf. So wie die Kette in dem Momente geschlossen wurde, wo eine solche in der Mitte zwischen den Polspitzen hindurchging, bildete sich sogleich die Parabel.

Dasselbe fand, nur in etwas weniger scharfer Zeichnung, auch dann statt, wenn von einer *ausgeblasenen Talgkerze* noch Rauch aufstieg.

22) Ein Stückchen *Schwefel* wurde auf das in der Mitte vertiefte Porcellannäpfchen gelegt und angezündet. Nachdem dasselbe zu einer Masse, die 7^{mm} Durchmesser hielt, geschmolzen war, brannte es ruhig fort und bildete einen regelmässigen Flammenkegel von ungefähr 6^{mm} Höhe, der mit seinem oberen Theile zwischen die Polspitzen reichte. Im Momente des Schliessens wurde die Flamme herabgedrückt und bildete nur noch eine auf der geschmolzenen Schwefelmasse liegende, feurige Schicht. Der Schwefel brannte schneller und gerieth während der magnetischen Erregung in ein heftigeres Kochen.

22a) Wenn in dem Versuche der vorigen Nummer statt des Stückchens Schwefel ein Stückchen Phosphor genommen und angezündet

wurde, so zeigte sich auch hier eine Depression der hellbrennenden Flamme, und zwar in Begleitung des öfters schon beschriebenen parabolischen Aufsteigens des bläulichen Dampfes, das hier überraschend schön sich zeigte.

23) Eine *Alkoholflamme*, 25^{mm} hoch, von violetter Farbe, ruhig brennend, wurde beim Schliessen der Kette wie die Flamme einer Stearinkerze herabgedrückt und nahm bei verschiedener Erhebung die entsprechenden ähnlichen Formen an. Die Verbrennung wurde stärker, und die ursprünglich dunkelviolette Farbe schön *gelb*.

24) Die *Verstärkung der Flamme*, die überall bisher sich gezeigt hat, ist offenbar Folge davon, dass die Flamme der Quelle, aus der sie ihre Nahrung nimmt, durch den Magnet näher gebracht wird. Der Alkohol, das Stearin, der Schwefel werden bei der stärkeren Erwärmung stärker consumirt. Um speciell zu entscheiden, worin die gelbe Färbung der Flamme durch den Magneten, die bei der Verbrennung des Schwefels sich nicht zeigte, ihren Grund habe, wurde in einem kupfernen, fingerhutartigen Gefässe Alkohol, und zwar *ohne Docht*, unter die Polspitzen gebracht und, statt der gewöhnlichen Spirituslampe, angezündet. Die Flamme änderte ihre Form ähnlich wie früher, doch ohne sich gelb zu färben. Die gelbe Farbe beim ersten Versuche scheint hiernach davon herzurühren, dass Kohlentheilchen von dem Dochte sich losreissen, und dieses wiederum wird dadurch hervorgebracht, dass durch die Erregung des Magnetismus die Flamme zum Dochte herabgedrückt wird und diesen zum Theil verkohlt.

25) Interessant war es noch, die *Wasserstoffgasflamme* zu untersuchen, die bekanntlich nur aus glühendem Wasserdampf besteht. Nachdem das Wasserstoffgas in gewöhnlicher Weise durch Zinkstücke und verdünnte Schwefelsäure entwickelt worden war, strömte es, nach Oeffnung eines Hahnes, aus einer zu einer feinen Spitze ausgezogenen Glasröhre, deren Oeffnung unter die Mitte der Polspitzen gebracht wurde, unter einem anfänglichen Wasserdrucke von 340^{mm} Höhe senkrecht nach oben aus. Nachdem es angezündet worden war, wurde der Magnetismus hervorgerufen. Anfänglich war, bei der grossen Gewalt, mit welcher das Gas ausströmte, keine Einwirkung auf die Flamme bemerkbar; bei immer sich verminderndem Wasserdrucke zeigte sich aber, indem zugleich die Flamme kleiner wurde, bald diese Einwirkung, und ganz so, wie in den früheren analogen Fällen, wurde die Flamme seitwärts getrieben und herabgedrückt.

26) Wenn wir einen Blick rückwärts werfen auf die beschriebenen Erscheinungen, die die verschiedenen Flammen darbieten (14 bis 25), so erklären sich alle die mannigfaltigen Formen aus der Annahme,

dass die Masse der Flammen durch den Magnet abgestossen werde, und dass diese Abstossung hauptsächlich von der Axenlinie aus nach allen Seiten hin erfolgt. Die Form der Flamme ändert sich, äusseren Eindrücken folgend, ähnlich wie die einer in eine dünne Hülle eingeschlossenen Gasmasse. Die ursprüngliche Form ist durch das Aufsteigen des aus dem Dochte sich entwickelnden Gases bestimmt. In der ersten und zweiten Figur bringt die laterale Abstossung, indem sie die Flamme in die Breite zieht, eine Depression derselben hervor. Wenn diese Wirkung zunimmt, so streben die beiden äussersten Spitzen in der Aequatorialebene, ähnlich wie die ursprüngliche Flamme, nach oben (Fig. 3 bis 5), wodurch in den beiden ersten Fällen in der Mitte eine Vertiefung entsteht. Wenn aber die Polspitzen tiefer liegen, so kann die Flamme, die aus dem Dochte das sie nährende Gas zieht, diesen Docht nicht verlassen, und dann entsteht in der Mitte eine Erhebung wie in der fünften Figur. Hier ist der erhabenere Theil aus demselben Grunde, wie bei der gewöhnlichen Kerzenflamme der untere Theil, weniger leuchtend.

27) In den meisten Fällen wird die Flamme durch den Magnet herabgedrückt und in Folge davon verstärkt, beides in Folge der von diesem ausgehenden Abstossung. Eine solche Abstossung muss aber unter veränderten Umständen auch eine Schwächung der Flamme, so wie auch eine Verlängerung derselben hervorbringen können. Ersteres zeigte sich zufällig an einer kleinen Stearinflamme, welche sogar, indem die Polspitzen tief unten an den Docht gebracht wurden, bei der Erregung des Magnetismus ausgelöscht wurde, offenbar dadurch, dass das Gas, welches die Flamme nährte, bevor es zu derselben gelangte, seitwärts abgestossen wurde. Die Flamme war übrigens schon durch die von den Polspitzen ausgehende Abkühlung geschwächt.

28) Wenn andererseits die Flamme ganz oberhalb der Polflächen sich befindet, und die Richtung, nach welcher sie von dem Magnete abgestossen wird, senkrecht nach oben gerichtet ist, so muss die Flamme, wenn unsere Anschauungsweise die richtige ist, statt sich zu verkürzen, im Gegentheile sich verlängern. Um dieses durch einen Versuch zu bestätigen, wurden die parallelepipedischen Halbanker (*A*) flach aufgelegt und in einer Entfernung von $3{,}5^{mm}$ gehalten. Ein gewöhnlicher Lampendocht wurde dicht über den mittleren Theil der oberen Kanten der beiden einander zugewandten rechtwinkligen Polflächen und dann mit beiden Enden zwischen denselben hindurch in ein darunter stehendes mit Alkohol gefülltes Gefäss geführt. Nachdem der Docht sich getränkt hatte, wurde er oben angezündet, wobei die Flamme sich nicht über denjenigen Theil des Dochtes, der an den

oberen Kanten vorbeigeführt war, hinaus verbreitete. Die Flamme wurde beim Schliessen der Kette *höher*.

Bei diesem Versuche darf der brennende Theil des Dochtes nicht aus der Mitte der oberen Kanten nach den Enden derselben fortgerückt werden, weil sonst die Flamme gleichzeitig seitwärts abgestossen wird.

29) Durch die in dem Vorstehenden beschriebenen Versuche ist bewiesen, dass die verschiedenen untersuchten Flammen sich diamagnetisch verhalten und überdies sämmtlich in höherem Grade diamagnetisch sind, als die umgebende Luft. Wenn einerseits in der Flamme der Talg-, Stearin- und Wachskerze, so wie des Terpentins glühende fein zertheilte Kohle, anderseits in der Phosphorflamme glühende Phosphorsäure sich vorfindet, und diesen beiden Körpern in *der* Art die beobachtete Abstossung der Flamme zugeschrieben werden könnte, dass sie die glühenden Gase mit sich fortzögen — so finden sich doch in den übrigen untersuchten Flammen keine fein zertheilten festen Körper, welche die Abstossung hervorbringen könnten. *Es sind also der Wasserdampf der Wasserstoffgasflamme, die mit Wasserdampf gemengte Kohlensäure der Alkoholflamme, die schweflige Säure beim brennenden Schwefel, sämmtlich im glühenden Zustande stärker diamagnetisch als die Luft.*

Dieses merkwürdige Resultat muss um so mehr überraschen, wenn wir erwägen, wie ausgedehnt die genannten Gase im Zustande des Glühens sind, und wir werden unwillkürlich dahin geführt, zu fragen, ob nicht die hohe Temperatur dem Hervortreten des Diamagnetismus günstig sei, wie sie andererseits den Magnetismus schwächt.

30) Gleich zu Anfang meiner magnetischen Untersuchungen bemühte ich mich, durch den Magnet das Eisen in einer Alkoholflamme nachzuweisen, deren Docht mit fein zertheiltem Eisenvitriol eingerieben worden war, und die in Folge davon mit schönem gelben Lichte brannte. Ich erhielt damals ein negatives Resultat, das ich auch bei späteren Wiederholungen in der Art bestätigt fand, dass die Flamme durch das beigemischte Eisen keine geringere Abstossung erfuhr, als ohne dasselbe, ja selbst isolirte glühende Eisentheilchen, die mit der Flamme nach oben gingen, wurden vom Magnete in ihrer Bewegung nicht gestört.

31) Die bei der Flamme stattfindenden Erscheinungen geben keinen Augenblick dem Gedanken Raum, dass die beobachtete Abstossung Folge von Luftströmungen sein könnte. Solche Strömungen der Luft könnten überhaupt nur durch die Wirkung des Magneten auf dieselbe hervorgebracht werden, nicht durch die Flamme selbst, weil ihre Wirkung zugleich mit dem Magnetismus aufhört. Denkbar wäre es, da

wir die Luft als diamagnetisch ansehen, dass, wenn wir die parallelepipedischen Halbanker (*A*), wie in der 28. Nummer, auflegen, der Raum zwischen den Polflächen der Halbanker schornsteinartig wirkte, in der Art, dass die Luft an denjenigen Stellen, wo die diamagnetische Wirkung am stärksten (der Magnetismus in den Polflächen am stärksten) wäre, herausgestossen und durch andere continuirlich ersetzt würde, die an Stellen, wo die Wirkung schwächer wäre, hineinträte.[3]) Die Flamme, seitwärts in die Nähe der Polflächen gebracht, wurde abgestossen, und als ich ein Glimmerblättchen zwischen die Flamme und den Halbanker einschob, wurde die Flamme *weniger stark* abgestossen. Aber, da überhaupt die Nähe des Glimmerblättchens störend einwirkt, wage ich noch nicht zu entscheiden, ob die Schwächung der Abstossung einem Luftzuge zuzuschreiben sei oder nicht, wie interessant es auch wäre, auf diese Weise den Diamagnetismus der Luft direkt nachgewiesen zu haben.

32) Wenn die Luft, woran sich nicht wohl zweifeln lässt, diamagnetisch ist, so wird sie von den Polen des Magneten abgestossen und also in der Nähe derselben *verdünnt.*[3]) Diese Verdünnung lässt sich aber durch das Barometer nicht beobachten, weil die Luft gewissermassen durch den Magneten zugleich auch eine grössere Spannkraft erhält. Ich schlug daher zu diesem Ende einen andern Weg ein und nahm einen Glascylinder, etwa 90^{mm} lang und 30^{mm} breit, der in der Mitte so eingedrückt war, dass die konischen Spitzen der Halbanker (*B*) in die Vertiefungen hineingebracht werden konnten und dann nur wenige Millimeter von einander abstanden. An den Cylinder war eine enge Röhre angeschmolzen, und die Luft in demselben durch einen in die letztere gebrachten Alkoholtropfen abgesperrt, um aus der Bewegung des Tropfens beim Schliessen der Kette auf den Magnetismus oder Diamagnetismus der eingeschlossenen Luft zu schliessen. Obgleich sich kein Erfolg zeigte, so gedenke ich doch unter anderen Verhältnissen und bei stärkerer Kraft den Versuch zu wiederholen.

§ 2.

Ueber das magnetische oder diamagnetische Verhalten der tropfbarflüssigen Körper.

33) Wenn Massen von feinen Eisenfeilspänen über die angenäherten Pole eines Magneten gebracht werden, so bilden sie, in Folge davon, dass sie von diesen Polen angezogen werden, Anhäufungen, die nach der Form und Entfernung der Pole verschiedene Configurationen annehmen. In entsprechender Weise müssen daher auch magnetische

Flüssigkeiten afficirt werden. Von diesem Gesichtspunkte ausgehend, brachte ich zunächst verschiedene Flüssigkeiten in einem Uhrglase über die Pole des Elektromagneten, und die beobachteten Erscheinungen entsprachen vollkommen meiner Erwartung. Die Flüssigkeiten zogen sich mehr oder weniger stark nach denjenigen Punkten hin, wo die magnetische Wirkung am stärksten ist, also vorzugsweise nach den Kanten der Polflächen, und in Folge hiervon nahm ihre Oberfläche merkwürdige Formen an, die ihre volle Erklärung in der analogen Anschauung finden, von der wir in dieser Nummer ausgegangen sind. Diese Erscheinung will ich zunächst für eine stärker magnetische Flüssigkeit, eine ziemlich concentrirte *Auflösung von Eisenchlorid in Wasser*, beschreiben.

34) Ich wählte ihrer grösseren Masse wegen die in der zweiten Nummer erwähnten Halbanker (C), legte dieselben, die eingehobelten Rinnen nach unten gekehrt, so auf die Polflächen des Elektromagneten auf, dass die abgerundeten Enden einander zugewendet waren und in einer bestimmten Entfernung von einander gehalten wurden. Ein Uhrglas aus einer Kugel geschnitten, deren Radius 36^{mm} betrug, wurde so auf die beiden Halbanker gesetzt, dass es diese in denjenigen Punkten berührte, deren Entfernung die kleinste war, und dann in dasselbe die Flüssigkeit gebracht. Betrug der kleinste Abstand der beiden Halbanker von einander $2{,}5^{mm}$, und war die Menge der Flüssigkeit eine solche, dass ihr Umfang einen Kreis von 35^{mm} Durchmesser bildete, so nahm nach Schliessung der Kette die Flüssigkeit eine solche Form an, dass sie, von oben gesehen, sich als von einer fast geometrisch genauen Ellipse begrenzt darstellte, deren grosse Axe in die Aequatorialebene, und deren kleine Axe in die senkrechte Meridianebene*) des Magneten fiel. Jene war 40^{mm}, diese 25^{mm} lang. Der Stand der Flüssigkeit vor und nach dem Schliessen der Kette wurde durch das Sphärometer gemessen, und so stellte sich heraus,

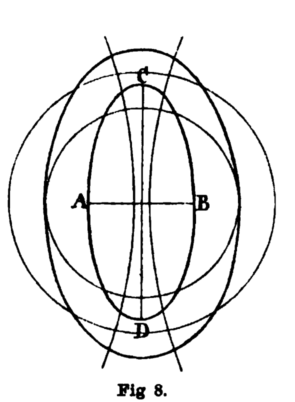


Fig 8.

*) Als solche bezeichne ich, im Sinne der Faraday'schen Bezeichnungsweise, jede durch die axiale (die Pole verbindende) gerade Linie gelegte Ebene. Wenn überhaupt zwei symmetrische Halbanker auf die Polflächen eines Hufeisenmagneten gelegt werden, so giebt es immer zwei Ebenen von ausgezeichneter Lage, von welchen die erste durch die Axen der beiden Schenkel, und die zweite, senkrecht auf der ersten, durch die Mittellinie des Magneten geht. Die erste wollen wir in dem Nachstehenden *Meridian-*, die zweite *Aequatorialebene* nennen.

dass die magnetische Kraft die Flüssigkeit in der Mitte um 1,12^{mm} gehoben hatte. In der Figur 8 stellt der grössere Kreis die ursprüngliche Begrenzung der Flüssigkeit, von oben angesehen, dar, und dieser Kreis verwandelt sich durch die magnetische Einwirkung in die äussere Ellipse. Die Flüssigkeit drängt sich in die äquatoriale Ebene, in derselben einen Bergrücken bildend, dessen Kamm durch eine Curve gebildet wird, die sich in der Mitte fast zu einer geraden Linie abflacht, und an den Enden, ihre Convexität ändernd, sich rasch zum Glase herabsenkt. Der Durchschnitt in der Meridianebene ist oben durch eine in der Mitte einen Hügel bildende Curve begrenzt.

35) Die magnetische Einwirkung auf die Flüssigkeit wird noch augenscheinlicher, wenn ihre Quantität vermindert wird. Bildete ihr Umfang ursprünglich einen Kreis von 25^{mm}, so zog sich dieser, nach axialer Richtung schmaler, nach äquatorialer Richtung breiter werdend, von oben aus gesehen, in eine mehr excentrische Ellipse auseinander, deren Axen 30,5^{mm} und 13^{mm} betrugen. Der axiale Durchschnitt der Flüssigkeit nach *AB* ist Fig. 8a, der äquatoriale nach *CD* Fig. 8b dargestellt.

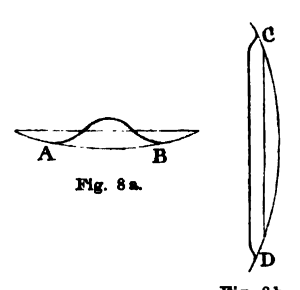


Fig. 8a. Fig. 8b.

Die oberen Kanten der beiden Halbanker, auf welchen das Uhrglas aufsteht, sind in der 8. bis 12. Figur durch die mit grösseren Radien beschriebenen beiden Kreisbogen angezeigt.

36) Wenn der kürzeste Abstand dieser Halbanker bis auf 8^{mm} vergrössert wurde, so änderte sich, indem die letzte Flüssigkeitsmenge beibehalten wurde, die Form der Flüssigkeit ganz wesentlich. Diese bildete (Fig. 9), von oben angesehen, ein Oval, das merklich von einer Ellipse abwich. Die Dimension desselben in der Aequatorialebene war dieselbe geblieben, in der Meridianebene hatte sich die Flüssigkeit bis auf 14,5^{mm} zusammengezogen. Fig. 9a und Fig. 9b stellen bezüglich die Durchschnitte der Flüssigkeit nach *AB* und *CD* dar; beide sind oben in der Mitte durch fast gerade Linien begrenzt.

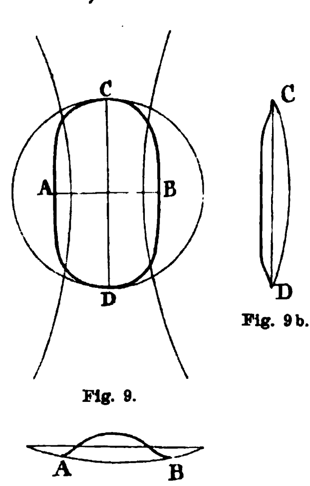


Fig. 9. Fig. 9a. Fig. 9b.

37) Bei derselben Menge der Flüssigkeit wurden die Pole bis auf 15^{mm} von einander entfernt; dann ergab sich die Form der 10. Figur, nachdem sich

der ursprüngliche Kreis sowohl nach der axialen, als auch nach der äquatorialen Richtung zusammengezogen hatte; nach jener hatte sich die Convexität des Kreises vermindert, nach dieser in der Mitte in Concavität verwandelt. Die neue Begrenzungscurve wurde von dem fraglichen, sie ganz umschliessenden Kreise in denjenigen vier Punkten berührt, durch deren senkrechte Projektion auch die oberen Kanten der beiden Halbanker gingen. Von oben angesehen, stellten sich zwei Bergrücken dar, die mit zwei geraden Linien zusammenfielen, deren Projektionen die Halbankerkanten in den Punkten des geringsten Abstandes berührten, und in der Mitte zwischen beiden ein parallellaufendes, in der Aequatorialebene liegendes Thal. Die beiden Durchschnitte der Flüssigkeit nach *AB* und *CD* bei dem Falle der vorigen Nummer änderten sich hier in der Art, dass ersterer (Fig. 10a) in der Mitte eine Vertiefung erhielt, und letzterer (Fig. 10b), in der Mitte geradlinig bleibend, durch einen gegen das Uhrglas concaven Bogen zu diesem sich heruntersenkte.

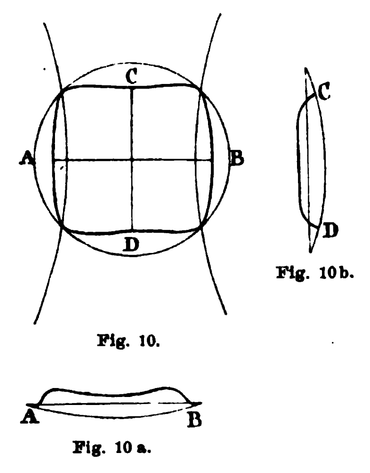


Fig. 10. Fig. 10b. Fig. 10a.

38) Dann wurden die beiden Halbanker bis auf eine Entfernung von 23^{mm} gebracht, wobei die Flüssigkeit noch eben über die oberen Kanten derselben herüberragte. Beim Schliessen der Kette zog sich die Flüssigkeit zu einem langgestreckten Ovale auseinander, dessen grösste Dimension mit der *axialen* Richtung zusammenfiel. In der Mitte vertiefte sich die Flüssigkeit fast bis zum Glase und häufte sich senkrecht oberhalb der Kanten der beiden Halbanker hügelartig auf. Die Ansicht von oben ist in der 11. Figur, der Durchschnitt nach *AB* in Fig. 11a dargestellt. Nach der Aequatorialebene war das Oval in der Mitte etwas zusammengedrückt; der Durchschnitt nach dieser Ebene folgte der oberen Fläche des Uhrglases.

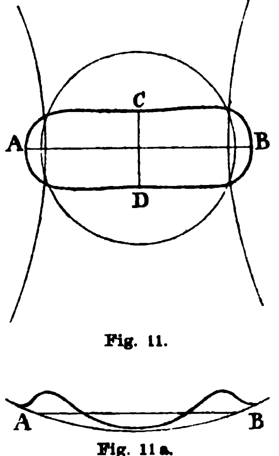


Fig. 11. Fig. 11a.

39) Endlich wurde noch ein Polabstand von 31^{mm} genommen, so dass der Flüssigkeitskreis ganz zwischen den Halbankern lag. Dann verwandelte sich derselbe, nach Erregung des Magnetismus, in eine wenig excentrische

Ellipse, deren grosse Axe in die Meridianebene fiel (Fig. 12). Nach der Aequatorialebene hatte die Oberfläche der Flüssigkeit eine schwache Vertiefung.

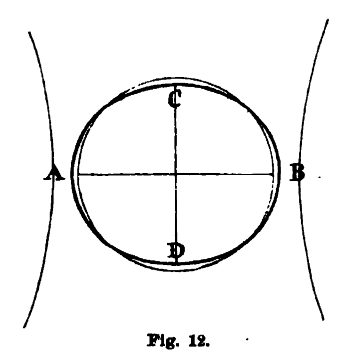


Fig. 12.

Wenn bei der, durch die Entfernung der Halbanker bedeutend geschwächten magnetischen Spannung eine grössere Stromstärke angewandt worden wäre, und die Flüssigkeit die Halbanker erreicht hätte, so würde dieselbe offenbar eine Form angenommen haben, die der des vorigen Falles näher gekommen wäre. Ueberhaupt können wir leicht den allmäligen Uebergang von der Form der 8. bis zur Form der 12. Figur verfolgen und aus den Anziehungskräften und der Cohäsion der Flüssigkeit als nothwendig begründet ableiten.

40) *Eisenchlorür*, in Wasser aufgelöst, zeigte sich etwas weniger stark magnetisch als Eisenchlorid, *Eisenvitriol* noch weniger. Bei derselben Ajustirung, wie in der 34. Nummer, bildete eine concentrirte Lösung des letztgenannten Salzes in dem Uhrglase einen Kreis von 26^{mm} Durchmesser, der sich bei Erregung des Magnetismus in eine Ellipse umgestaltete, deren Axen $27{,}5^{mm}$ und $23{,}5^{mm}$ lang waren.

41) Stärker magnetisch als die Eisenvitriollösung war eine gesättigte Lösung von *salpetersaurem Nickeloxyd*, die ursprünglich einen Kreis von $30{,}5^{mm}$ Durchmesser bildete, und nach der magnetischen Erregung eine Ellipse, deren Axen 33^{mm} und 26^{mm} betrugen.

42) Bei allen vorstehenden Versuchen wurden zehn Grove'sche Elemente in Thätigkeit gesetzt; aber *ein einziges* Element reichte schon hin, um die Wirkung bemerklich zu machen. Bei der in dem ersten Paragraphen dieser Abhandlung beschriebenen Einwirkung auf die Flammen bedurfte ich hierzu mindestens *zweier* Elemente.

Um die Wirkung bei schwächer magnetischen Flüssigkeiten zu sehen, brachte ich die Halbanker vorzugsweise in eine Entfernung von 2^{mm} bis 4^{mm}. Die Spiegelung des Fensters in der Flüssigkeit erleichterte sehr die Beobachtung der magnetischen Wirkung, namentlich dann, wenn die Ausdehnung und Zusammenziehung der Flüssigkeit nur gering und nicht gut zu sehen war. Ein Beispiel einer *schwach* magnetischen Flüssigkeit gewährte eine Lösung von käuflichem Kupfervitriol — wahrscheinlich in Folge des beigemischten Eisens — und eine Lösung von Eisenvitriol in Wasser vom 50fachen Gewichte.

43) Es lag nahe, neben den magnetischen Flüssigkeiten auch die *diamagnetischen* demselben Versuche zu unterwerfen; die Resultate ent-

sprachen den Erwartungen. Wenn die Entfernung der beiden Halbanker 2,5^{mm} betrug, so ging der magnetischen Flüssigkeiten entsprechende Durchschnitt der Fig. 8a in die Form der 13. Figur über. (In dieser und der folgenden Figur ist die diamagnetische Wirkung stärker gezeichnet, als sie bei der angegebenen Stromstärke wirklich stattfindet.) Die Flüssigkeit dehnte sich nach der axialen Richtung aus, während sie sich nach der äquatorialen zusammenzog. Oberhalb der Mitte zwischen den beiden Halbankern bildete sich, statt des früheren Bergrückens, nur ein in der Aequatorialebene sich hinziehendes *Thal*. Bei einer Entfernung der beiden Halbanker von 15^{mm} entstand, statt des Durchschnittes der magnetischen Flüssigkeit, wie er Fig. 10a dargestellt ist, ein Durchschnitt von der Form der 14. Figur. Die Flüssigkeit *erweiterte* sich sowohl nach axialer, als auch nach äquatorialer Richtung, in der Aequatorialebene einen Bergrücken und parallel mit demselben zwei Thäler bildend, deren senkrechte Projektionen die oberen Kanten der Halbanker berührten.

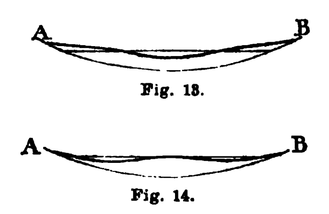


Fig. 13.

Fig. 14.

44) Es zeigte sich überhaupt, wenn der grösseren magnetischen Spannung wegen die beiden Halbanker in einer Entfernung von 2^{mm} bis 4^{mm} gehalten wurden, dass *keine einzige* der verschiedenen Flüssigkeiten, die ich untersucht habe, sich indifferent verhielt. Als diamagnetisch wurden auf diese Weise unter andern erkannt: Wasser, Alkohol, Schwefeläther, Schwefelsäure, Salpetersäure, Salzsäure, Ammoniakflüssigkeit, Schwefelkohlenstoff, fette und ätherische Oele, geschmolzenes Wachs, gesättigte Lösungen von salpetersaurem Wismuth, Kochsalz, Salpeter, Glaubersalz und namentlich auch von gelbem und rothem Blutlaugensalz, Milch, Blut.

45) *Quecksilber* zeigte sich in dem Uhrglase indifferent gegen den Magneten, wobei sich aber sogleich die Vermuthung ergab, dass der Grund davon in der geringen Beweglichkeit desselben zu suchen, und diese wiederum durch den Umstand zu erklären sei, dass dasselbe die Oberfläche des Glases nicht benetzte. Nachdem das Quecksilber darauf in eine kleine, frisch amalgamirte, messingene Schale gebracht worden war, zeigte es unzweifelhaft sein diamagnetisches Verhalten.

46) Am wenigsten vorhergesehen war, dass das gelbe und rothe Blutlaugensalz — was Hr. Faraday ebenfalls gefunden hat, indem er Krystalle desselben schwingen liess — sich diamagnetisch verhielt. Eine gesättigte Lösung von *gelbem Blutlaugensalze* in Wasser war stärker diamagnetisch als das reine Wasser. Hiernach hätte man wenig-

stens erwarten sollen, dass neben dem grossen Eisengehalte in dem Doppelsalze ungewöhnlich stark diamagnetische Stoffe sich befänden, dass ein solcher zunächst in dem Cyankalium zu finden wäre, das in seiner Verbindung mit Cyaneisen, den Magnetismus dieses letzteren überwältigend, dasselbe entschieden diamagnetisch gemacht hätte. Aber Cyankalium, in Wasser aufgelöst, *schien dieses nicht stärker diamagnetisch zu machen.*

47) Die vorstehende Beobachtungsmethode schien mir in doppelter Beziehung werth, weiter ausgebeutet zu werden, einmal um das Vorhandensein auch *der kleinsten Spur von Magnetismus oder Diamagnetismus* bei einer Flüssigkeit zu entdecken, andererseits um die Stärke von beiden zu *messen.*

In ersterer Beziehung war vorauszusehen, dass die Einwirkung des Magneten auf die Flüssigkeit bedeutend zunehmen musste, wenn diese in kleinen Quantitäten, statt in ein Uhrglas, auf ein dünnes Glimmerblättchen, das bei einer geringen Entfernung der beiden Halbanker (C) auf beiden auflag, gebracht würde. Eine stärker magnetische*) Flüssigkeit bildete unter diesen Verhältnissen einen doppelten, mehrere Millimeter hohen Bergrücken, der, genau den beiden halbkreisförmigen Kanten folgend, da am meisten anstieg, wo der Abstand der beiden Halbanker am kleinsten war.

Am stärksten war die Wirkung des Magneten dann, wenn dieselben beiden Halbanker so aufgelegt wurden, dass sie, wie bisher, ungefähr 3^{mm} von einander abstanden, ihre eingehobelten Rinnen aber nach oben gekehrt waren, und dann diese Rinnen, von welchen eine die Verlängerung der anderen bildete, da, wo sie einander am nächsten waren, inwendig mit einem dünnen Glimmerblättchen bekleidet wurden, das zugleich von einem der beiden Halbanker zum andern eine Brücke bildete. Wurde hiernach Wasser, das keineswegs zu den am stärksten diamagnetischen Flüssigkeiten gehört, auf das Glimmerblättchen gebracht und auf beiden Seiten in einiger Entfernung von der Mitte durch Wachs eingedämmt, so zeigte sich, wenn man zwischen den beiden Ankern hindurchsah, dass das daselbst befindliche Wasser 5^{mm} bis 6^{mm} am Glimmerblättchen sich herunterzog, um sich nach entgegengesetzten Seiten in die beiden Rinnen hineinzudrängen. Magnetische Flüssigkeiten hingegen bewegten sich nach der Mitte hin und zogen sich hier an dem Glimmerblättchen in die Höhe.

48) Andererseits wurden die beiden parallelepipedischen Halbanker (A) flach aufgelegt und in eine Entfernung von 8^{mm} gebracht,

*) [Im Original steht, offenbar irrthümlicher Weise, *diamagnetische.*]

in welcher sie festgehalten wurden. Dann wurde zwischen die Polflächen der Halbanker ein parallelepipedischer, oben offener Kasten von dünnem Messingblech gebracht, dessen grössere Seitenwände ungefähr dieselben Dimensionen hatten, als jene Polflächen, und der zwischen denselben, bei einer Weite von ungefähr 7^{mm}, noch einen kleinen Spielraum übrig liess. An dem unteren Theile einer der beiden schmalen Seiten war eine längere, in der Aequatorialebene langsam ansteigende Glasröhre von etwa $1{,}5^{mm}$ innerem Durchmesser wasserdicht eingekittet. Wurde hiernach eine diamagnetische Flüssigkeit in solcher Menge in den Kasten gebracht, dass etwa ein Drittheil desselben angefüllt war, und dem entsprechend die Flüssigkeit in der Röhre bis zur Mitte anstieg, so verlängerte sich beim Schliessen einer Kette von 6 bis 8 Grove-schen Trögen der Flüssigkeitsfaden bei Wasser, Blutlaugensalzlösung, Alkohol um 1^{mm} bis 3^{mm}. Das Umgekehrte fand bei Anwendung einer magnetischen Flüssigkeit statt; eine gesättigte Lösung von Eisenvitriol in Wasser zog sich in der Glasröhre um mehr als 80^{mm} zurück.

In wie weit aus dem Vorstehenden die Idee zu einer genaueren vergleichenden Bestimmung der Stärke des Magnetismus und Diamagnetismus bei Flüssigkeiten zu entnehmen sein möchte, darüber behalte ich mir, mich hier auf die Erscheinung beschränkend, Erörterungen für eine spätere Mittheilung vor.

49) Bei der Bewegung der Flüssigkeiten zugleich auch *die Bewegung der ihnen beigemengten feinzertheilten festen Körper* zu beobachten, war ein Gedanke, der nahe lag, und der insbesondere auch bei der Untersuchung des Blutes hervortrat. Hr. Faraday hat dasselbe schon als diamagnetisch erkannt — was freilich weniger befremden musste, nachdem sogar das Blutlaugensalz sich diamagnetisch zeigte — und dieses fand ich bestätigt, gleichgültig, ob ich das Blut eines frisch getödteten Frosches, oder menschliches Blut, oder geschlagenes Ochsenblut in das Uhrglas brachte (44), und auch dann, wenn die Blutkügelchen abfiltrirt, getrocknet und als feste Masse zwischen den Polspitzen an einem Coconfaden aufgehängt wurden. Interessant erschien es noch, die Blutkügelchen einzeln, in dem Serum schwimmend, zu beobachten.

50) Um das hierzu nothwendig werdende *Mikroskop* in Anwendung bringen zu können, bediente ich mich anfänglich der Halbanker (*B*) und schraubte in dieselben statt der konischen Spitzen zwei andere [Fig. *H*, *b*, Tafel I] ein, von denen die untere Hälfte abgefeilt war, so dass auch dann noch, wenn die Spitzen möglichst genähert waren, das Glas mit dem Objekte mit denselben fast zur Berührung gebracht werden konnte, wonach es gelang, gleichzeitig die beiden Spitzen und das Objekt ins Gesichtsfeld des Mikroskops zu bekommen.

In den meisten Fällen zog ich es indess, der grösseren magnetischen Spannung und leichteren Ajustirung wegen, später vor, die beiden parallelepipedischen Halbanker (*A*) flach aufzulegen und in einer Entfernung von 3,5^{mm} festzuhalten, ein Glimmerblättchen oder ein dünnes Glas über zwei obere gegenüberstehende Ecken der beiden Halbanker zu legen und das Mikroskop so zu ajustiren, dass der Beleuchtungsspiegel das Licht zwischen den Polflächen hindurch zum Objekt sendete.

51) In welcher Weise wir auch beobachteten, und gleichviel, ob wir auf das Glas oder Glimmerblättchen Frosch- oder anderes Blut brachten, gleichviel ob unverdünnt oder mit Wasser gemischt, es war unter dem Mikroskop jedesmal eine Abstossung der ganzen Flüssigkeitsmasse und daneben noch eine besondere Abstossung der Blutkügelchen für sich wahrzunehmen. Diese Blutkügelchen, in denen die chemische Analyse den Eisengehalt nachgewiesen hat, erscheinen hiernach stärker diamagnetisch als das Serum, in dem sie ursprünglich schwimmen, stärker als das Wasser, in das sie gebracht worden waren.

52) Aehnlich wie das Blut verhielt sich unter dem Mikroskope die Milch mit ihren kleinen Fettkügelchen.

53) Um durch einen direkten Versuch zu entscheiden, ob sehr kleine Körperchen in einer Flüssigkeit wirklich unter der Einwirkung des Magneten selbständige Bewegungen annehmen, brachte ich aus einer frisch zerschnittenen Kartoffel Amylumkügelchen in etwas Wasser auf Glimmer über eine Ecke der parallelepipedischen Halbanker; sie wurden, mit dem Wasser zugleich, abgestossen und zwischen den Polkanten heraus nach Aussen fortgetrieben. Als sie aber, statt in Wasser, in verdünnte Eisenvitriollösung gebracht worden waren, wurden sie zuerst mit Gewalt nach der Mitte der oberen Kanten zugleich mit der Flüssigkeit hineingezogen, kehrten dann aber, wenn die Flüssigkeit zur Ruhe gekommen war, in selbstständiger Bewegung zurück und wurden von den Polecken nach Aussen fortgetrieben.

---

54) Der erste Paragraph der vorstehenden Abhandlung war bereits abgesandt, bevor ich von dem Inhalte der neuesten Arbeit des Hrn. Faraday über den Diamagnetismus der Gase die geringste Kenntniss hatte. Die blosse Mittheilung, dass die 732. Nummer der Zeitschrift *l'Institut**) über diese Arbeit Bericht erstattete, bewog mich,

*) Vom 12. Januar 1848, angekommen in Bonn am 21. Januar. Die weiteren Nummern fehlen noch, so dass ich bis heute nur die Berichterstattung über einen Theil der Faraday'schen Versuche kenne. Die 724. Nummer desselben Journals brachte (am 24. Nov. 1847) die erste Nachricht von Zantedeschi über Bancalari's Flammenversuche[4]) hierher. Weil ich, aus Gründen der Mechanik, den

die Absendung dieses ersten Paragraphen zu beschleunigen, der, obwohl schon längere Zeit vollendet, von mir doch noch gern zurückgehalten worden wäre, um zuvor noch den Erfolg zweier Versuche abzuwarten, von welchen einer nur in der Wiederholung eines bereits in dem Vorstehenden discutirten Versuches besteht, und der andere, gleich beim Beginne meiner Versuche über den Diamagnetismus der Gase projectirt, wegen Mangels an Sonnenschein zu der Zeit, wo ich meine Versuche anstellen konnte, verschoben werden musste. Dieser letzte Versuch verliert jetzt freilich in Folge der Mittheilung des Hrn. Faraday an dem Interesse der Neuheit; dennoch führe ich ihn, wenn auch immer noch unvollständig, in diesen nachträglichen Erörterungen an, weil er zur Abrundung der von mir im ersten Paragraphen beschriebenen Versuchsreihe gehört.

55) Es ist, um mit dem ersten der beiden in der vorigen Nummer erwähnten Versuchen zu beginnen, eine tägliche Erfahrung, dass, wenn auf einen heissen Ofen die Sonne scheint, man die aufsteigende Luft und auf einer nahen Wand sogar den Schatten derselben ganz deutlich sieht. Hierin war ein Mittel geboten, aufsteigende warme Luft sichtbar zu machen und dadurch zu entscheiden, ob die warme Luft diamagnetischer sei als kalte, was ich mit Rücksicht auf die Versuche mit der Flamme für wahrscheinlich halten musste (14), obwohl ich über die Nachweisbarkeit hiervon durch den Versuch kein Urtheil haben konnte. Ich brachte hiernach eine nach oben etwas gebogene Spirale von dünnem Platindraht ihrer Länge nach äquatorial unter die genäherten Polspitzen des Elektromagneten. Wurde der Strom von sechs Elementen hindurchgeleitet, so wurde die Spirale weissglühend, und unter dem Kasten der Torsionswaage stieg ein heisser Luftstrom zwischen den Polspitzen ruhig in die Höhe und warf auf ein dahinter gehaltenes Blatt weissen Papiers einen deutlich begrenzten Schatten. Leider ging die Sonne in demjenigen Augenblicke ganz fort, als der Magnetismus durch Schliessen der Kette hervorgerufen werden sollte. Aber nachdem Hr. Faraday den entsprechenden Versuch in der Art gemacht hat, dass er durch oberhalb und seitwärts angebrachte Thermometer die äquatoriale Ablenkung des von unten aufsteigenden heissen Luftstroms nachgewiesen hat, ist es keinem Zweifel mehr unterworfen,

---

früheren Versuchen, aus welchen Hr. Faraday das indifferente Verhalten der Gase geschlossen hat, keine Beweiskraft zuschreiben konnte, beeilte ich mich, denselben Tag die Versuche mit der Flamme zu wiederholen, und, nachdem ich wenige Tage nachher den Versuch mit Joddämpfen gemacht hatte, konnte ich überhaupt nicht mehr an dem Diamagnetismus der Gase zweifeln. Seitdem habe ich meine Versuche jedem Besuchenden gezeigt.

dass auch bei meiner Ajustirung der gerade aufsteigende Schatten sich in zwei parabolische Zweige getrennt haben würde.

56) Ganz ebenso muss Jeder, der nur einmal den zwischen den Polspitzen aufsteigenden Rauch einer Terpentinflamme oder Joddampf gesehen hat, die Ueberzeugung gewinnen, wie man nach dem schönen Versuche des Hrn. Faraday — der oberhalb (oder unterhalb) und seitwärts des gerade aufsteigenden Gasstroms Gefässe zur Aufnahme desselben anbrachte und später fand, dass Gase, die diamagnetischer sind als die Luft, beim Schliessen der Kette nicht in das obere (oder untere), sondern in die seitwärts angebrachten Gefässe getreten waren — zu allgemeinen Resultaten gelangen kann. Sobald es sich darum handelt, die verschiedenen Gase zu untersuchen, steht meine Versuchsreihe, in der ich mich darauf beschränkte, die Einwirkung des Magneten auf die *sichtbaren* Gase zu beobachten — den Versuch, farblose Gase in gefärbten aufsteigen zu lassen und dadurch sichtbar zu machen, brachte ich eben so wenig zur Ausführung, als ich überhaupt dessen Ausführbarkeit prüfte — gegen die Faraday'sche zurück.

57) Dagegen erlaube ich mir schliesslich nochmals auf den in dem ersten Paragraphen beschriebenen Versuch die Aufmerksamkeit zurückzulenken, auf den Versuch nämlich, *den Diamagnetismus der Luft durch ihre Verdünnung ganz in gleicher Art direkt nachzuweisen, wie die Ausdehnung derselben durch die Wärme vermittelst eines gewöhnlichen Luftthermometers nachgewiesen wird.* Obgleich ich in dem Obigen das Misslingen des Versuches, der in ungünstiger Weise zwei Mal angestellt worden war, berichten musste, so verlor ich ihn dennoch nicht aus den Augen, keinen Augenblick an dem endlichen Gelingen desselben verzweifelnd. Jetzt kann ich melden, dass er auf's schönste gelungen ist.

Ich legte die beiden Halbanker (C), mit ihren halbkreisförmigen Enden einander zugekehrt und in einem kürzesten Abstande von 5^{mm} festgehalten, auf die Polflächen des Hufeisen-Elektromagneten und liess ein Gefäss von dünnem Messingbleche anfertigen, das möglichst genau, aber noch einen kleinen Spielraum übrig lassend, zwischen die beiden Anker passte [Fig. K, Tafel I]. Das Gefäss war 41^{mm} hoch, nach äquatorialer Richtung 93^{mm} lang, nach axialer Richtung in der Mitte $4{,}5^{mm}$, an den beiden Enden 40^{mm} breit; es war überall luftdicht verschlossen, nur in der Mitte einer der beiden fast quadratischen Seitenwände war eine Glasröhre von 1^{mm} Durchmesser, die nach horizontaler Richtung in der Aequatorialebene sich befand, eingelassen. Nachdem die Temperatur eine konstante von etwa 12^{0} C. geworden war, wurde das Gefäss durch Berührung mit der Hand wenig erwärmt, und dann, um die innere Luft abzusperren, ein Alkoholtropfen vor die Oeffnung der Röhre ge-

bracht. Beim Fortnehmen der Hand trat der Tropfen in die Röhre und kam in der Nähe des Gefässes zur Ruhe. Dann wurde der Magnetismus durch das Schliessen einer Kette von zwölf Grove'schen Elementen hervorgerufen, und in demselben Momente der Alkoholtropfen um 3^{mm} nach der Oeffnung der Glasröhre hin fortgestossen, und wenn dann, nachdem er nach einiger Zeit zur Ruhe gekommen war, die Kette wieder geöffnet wurde, kehrte er genau in die ursprüngliche Lage zurück, und zwar zeigte sich diese letztere Bewegung schneller als die erstere. *Die Luft war also, in Folge diamagnetischer Abstossung durch den Elektromagneten, ausgedehnt worden und hatte sich mit dem Verschwinden des Magnetismus wieder auf das ursprüngliche Volumen zurückgezogen.*[5])

58) Dasselbe in der vorigen Nummer beschriebene Gefäss lässt sich an der andern Seitenwand, die derjenigen, in welcher die Glasröhre eingelassen ist, gegenübersteht, in der Mitte öffnen und verschliessen, und so mit *beliebigen* Gasen füllen. Also auch diese können wir, wie die Luft, in Beziehung auf ihren Diamagnetismus prüfen. Endlich können wir, nach demselben Princip, auch den Einfluss der *Wärme* auf den Diamagnetismus der Gase bestimmen. Und wir können nicht nur den Diamagnetismus aller Gase bei gegebener Temperatur beobachten, *wir können ihn auch messen.*

59) Da nach den andern Bestimmungsweisen ein nicht abgeschlossenes Gas nur in der Luft oder in einem anderen Gase untersucht werden kann, so gelangen wir auf diesem Wege, abgesehen davon, dass an Messungen dabei nicht zu denken ist, nur zu relativen Bestimmungen. Wir können hier nur vermuthen, dass die Luft mit allen übrigen Gasen diamagnetisch sei. Die Erscheinungen würden bei allen derartigen Versuchen unverändert dieselben sein, wenn die Luft und alle Gase, statt diamagnetisch zu sein, magnetisch wären, vorausgesetzt nur, dass diejenigen, die in der Wirklichkeit den stärkeren Diamagnetismus haben, den schwächeren Magnetismus hätten.

60) Merkwürdig erschienen mir die in der 57. Nummer gewonnenen Resultate in mehrfacher Beziehung, namentlich auch darum, weil direkt *eine Analogie zwischen der Wärme und der Kraft des Magneten durch dieselben nachgewiesen worden ist: beide dehnen die Luft und die gasförmigen Körper aus.* Es ist dargethan worden, dass in der Umgebung eines Magneten auch die nicht abgesperrte Luft durch denselben verdünnt wird, und diese Verdünnung muss nothwendig mit Annäherung an die Pole zunehmen. Das Mariotte'sche Gesetz ist also, *strenge genommen,* in der bisherigen Annahme nicht mehr richtig. Das Barometer oder Manometer giebt uns nicht die Dichtigkeit der Luft, wenn wir nur auf die Wärme und nicht auf den diamagnetischen Zustand derselben Rücksicht nehmen.

5.

Action calorifique d'un courant électrique.[1])

(Lettre de M. Plücker à M. Arago. Comptes Rendus 26, S. 227—228. 1848.)

Dans une première lettre*), j'ai pris la liberté de vous communiquer mes expériences qui, en prouvant la répulsion des axes optiques des cristaux par les pôles d'un aimant, fournissent un rapport nouveau entre le magnétisme et la lumière. Mon Mémoire sur ce sujet a été présenté plus tard à l'Académie par la bonté de M. de Humboldt. Aujourd'hui, j'ose vous communiquer une expérience nouvelle, constituant une analogie frappante entre le magnétisme et la chaleur. Un thermomètre à air, transporté entre les deux pôles d'un fort aimant, marche précisément comme si la température avait augmenté. *L'air est dilaté par le magnétisme comme il l'est par la chaleur.*

Pour que l'expérience réussisse bien, il faut fixer les pôles de l'aimant dans une position aussi rapprochée que possible, et donner au vase du thermomètre une forme correspondante à celle des pôles de l'aimant, en prenant soin qu'il ne puisse être comprimé par ces pôles devenus magnétiques. La température de mon thermomètre à air étant devenue constante, je l'ai fermé par une petite goutte d'alcool dans un tube de verre de 1 millimètre d'ouverture. En excitant le magnétisme au moyen d'une batterie de douze éléments de Grove, on voit la goutte d'alcool repoussée en dehors de 3 millimètres environ, et revenir plus promptement encore dans sa première position après l'interruption du courant.

L'expérience que je viens de décrire se rattache à un Mémoire detaillé sur l'état magnétique des gaz et des liquides**), Mémoire que j'ai adressé, il y a quinze jours environ, à M. Poggendorff, rédacteur des „Annalen der Physik", sans avoir la moindre connaissance du récent travail de M. Faraday sur le premier de ces deux sujets. Aussitôt qu'il paraîtra, je ne manquerai pas de le soumettre au jugement de l'Académie.

*) [Siehe Abhandlung No. 1].

**) [Annalen der Physik u. Chemie 73, 549—582, 1848. Werke II. Abhandl. 4.]

6.

Ueber ein einfaches Mittel, den Diamagnetismus schwingender Körper zu verstärken. Diamagnetische Polarität.

(Annalen der Physik und Chemie, Bd. 73, S. 613—618. 1848.)

1) Man kann zwar mit einem schwachen Stahlmagnet den Faraday'schen Fundamentalversuch wiederholen und zeigen, dass ein Wismuthstab, zwischen den beiden Polen desselben an einem Coconfaden aufgehängt, von diesen abgestossen wird und in der äquatorialen Lage in Ruhe kommt. Immer aber ist die diamagnetische Abstossung des Wismuths im Vergleich mit der magnetischen Anziehung des Eisens nur sehr geringe, und daher jedes Mittel, die diamagnetische Kraft zu verstärken, erwünscht. Ein solches Mittel ist einfach dadurch gegeben, dass man nahe unter dem schwingenden Wismuthstabe einen äquatorial gerichteten Eisenstab in die Mitte zwischen die beiden Pole des Hufeisenmagneten bringt und in dieser Lage festhält.[1]) Es fällt auf den ersten Blick in die Augen, dass alsdann der Wismuthstab mit grösserer Kraft sich in die äquatoriale Lage zu stellen strebt, und es ist leicht, nach der Schwingungsmethode das Verhältniss zu bestimmen, in welchem die diamagnetische Richtkraft durch die Anbringung des Eisenstabes zugenommen hat.

2) Unter anderen Versuchen stellte ich den folgenden an. Ich legte die beiden Halbanker *C* (vergleiche die 2. Nummer der Abhandlung Nr. 4), die Rinnen nach unten gekehrt, so auf den Elektromagneten auf, dass ihre rectangulären Endflächen einander zugekehrt waren und die Polflächen bildeten. Sie hatten eine Höhe von 40 mm, waren nach der äquatorialen Richtung 59 mm breit und wurden durch zwei dazwischen gebrachte Messingstücke, jedes 6 mm dick, in deren Mitte ein Eisenstab, 4,5 mm dick und ungefähr so lang als die Polflächen breit, eingeklemmt war, in einer constanten Entfernung von 16,5 mm gehalten. Ein kleiner Wismuthcylinder, 2 mm dick und 25 mm lang, an einem Coconfaden so aufgehängt, dass er zwischen den Pol-

flächen etwas tiefer als die oberen Kanten derselben dicht über dem eingeklemmten Eisenstabe frei schwingen konnte, stellte sich, wenn der Magnetismus durch vier schwach geladene Grove'sche Elemente hervorgerufen wurde, sehr entschieden äquatorial*), und machte, aus der äquatorialen Lage herausgebracht, während der Dauer einer halben Minute 90 Oscillationen. Dann wurden, nachdem die Kette geöffnet worden war, die Messingstücke und der Eisenstab fortgenommen, ohne Verrückung der beiden Halbanker. Auch dann noch stellte sich der Wismuthstab sehr gut äquatorial, machte aber, wenn er aus der äquatorialen Lage herausgebracht wurde, während der Dauer einer halben Minute nur noch 36 Schwingungen. Die Kraft, mit welcher der Wismuthstab sich richtete, war also durch Hinzufügung des äquatorialen Eisenstabs in dem Verhältnisse von 36^2 zu 90^2 oder von

1 zu 6,25,

also um mehr als das *Sechsfache* gewachsen.

3) Als statt des Stabes von weichem Eisen ein nur um ein Weniges dickerer gehärteter Stahlstab genommen wurde, waren die entsprechenden Schwingungszahlen 78 und 34. Die richtende Kraft hatte also durch den Stahlstab im Verhältnisse von

1 zu 5,26

zugenommen.

4) Ich beschränke mich hier auf die Mittheilung einer einzelnen Beobachtung und füge nur über die Veranlassung zu derselben wenige Worte hinzu.

Die Faraday'sche Erklärung der diamagnetischen Erscheinungen liegt so nahe, dass jeder Physiker darauf verfallen muss. Ich formulirte sie in meinen Vorlesungen vom vorigen Sommer in den Worten: „im Wismuth inducirt jeder Nordpol eines Magneten einen Nordpol, jeder Südpol einen Südpol". Diamagnetische Polarität ist eine nothwendige Folge dieser Erklärung. Diese Polarität nachzuweisen, bemühte ich mich damals umsonst. Ich liess unter Anderem, indem ich statt des vorne zugespitzten Eisencylinders solche Cylinder von Wismuth in die durchbohrten beiden Polaufsätze einsteckte**), zwischen den Polenden dieser Cylinder ein Stäbchen von demselben Metalle schwingen, bemerkte aber bei oberflächlicher Betrachtung keine durch die Wismuthcylinder hervorgebrachte Aenderung. Die von den Herren

---

*) In der 44. Nummer meiner ersten Abhandlung, Bd. 72, S. 339, letzte Zeile, steht in der Beschreibung eines ähnlichen Versuches statt äquatorial in Folge eines Schreibfehlers axial.

**) Annalen, Bd. 72, S. 316. [Werke II, S. 7.]

Reich [Pogg. Ann. 73, S. 60] und Weber [ibid. S. 241] erlangten Resultate bewogen mich, meine früheren Versuche wieder aufzunehmen, und daraus ist die oben beschriebene Beobachtung hervorgegangen. Sie scheint zu bestätigen (aus diesem Gesichtspunkte wenigstens wurde sie angestellt), was die Versuche des Herrn Herausgebers dieser Annalen [Pogg. Ann. 73, S. 475] so schön geradezu nachweisen, dass nämlich ein Wismuthstab in der äquatorialen Lage ein wirklicher Transversalmagnet ist, der die Linie seiner Nordpole dem Nordpole und die Linie seiner Südpole dem Südpole des Magneten zukehrt. Auf die freundliche Mittheilung hiervon, die ich vor acht Tagen, noch vor Empfang des Märzheftes erhielt, habe ich den fraglichen Versuch sogleich wiederholt und die in der Notiz dieses Heftes, S. 475, bei Anwendung eines einzigen Poles des Magneten besprochene Polarität des Wismuthstabes, und zwar nicht nur auf der dem erregenden Pole zugewandten, sondern auch auf der abgewandten Seite, durch Anziehung und Abstossung in gewöhnlicher Weise nachgewiesen. Nur bediente ich mich dazu vorzugsweise eines weichen Eisenstabes, und derselbe Magnetpol, der auf das Wismuth diamagnetisch einwirkte, gab auch ihm, je nach der Lage, in der er gehalten wurde, die jedesmal gewünschte Polarität.

5) Wenn es hiernach durch die angeführten Versuche unwidersprechlich feststeht, dass der Diamagnetismus in einer polaren Erregung besteht, so sind doch noch grosse Schwierigkeiten zu überwinden, ehe diese Theorie als allgemeinbegründet angesehen werden kann. Diese schienen mir lange so gross, dass ich dieselbe ganz fallen liess und erst dann wieder aufnahm, als die Polarität so entschieden nachgewiesen wurde. Zwar glaube ich nach einer flüchtigen mathematischen Betrachtung, die von mir zuerst beobachtete Abstossung der optischen Axen der Krystalle durch den Magneten und das Ueberwiegen dieser Abstossung bei grösserem Polabstande über die magnetische oder diamagnetische Wirkung auf die Materie derselben durch eine zusätzliche Annahme recht einfach erklären zu können, aber unerklärlich scheinen mir bis jetzt die in meiner *zweiten* Abhandlung*) beschriebenen Thatsachen. Wenn ein Stück Holzkohle (bloss in Folge seiner Form, und, da die Längenrichtung nach oder entgegen der Faserrichtung genommen werden kann, ganz unabhängig von seiner Struktur) bei grösserer Nähe der Pole sich äquatorial, bei grösserer Entfernung sich axial stellt, so heisst das in der Sprache der Theorie: die Magnet-

*) Ueber das Verhältniss zwischen Magnetismus und Diamagnetismus. Poggendorff's Annalen, Bd. 72, S. 343. [Werke II, 3. Abhandl.]

pole rufen in der Kohle Ampère'sche Molecularströme hervor, die, wenn sie bei genäherten Polen etwa von Osten nach Westen gehen, bei der Entfernung der Pole, sich umkehrend, von Westen nach Osten gehen.

6) Nach dem zuletzt angeführten Versuche ist nicht in Abrede zu stellen, *dass bei wachsender Entfernung der beiden Magnetpole* die Molecularströme in der Kohle (wenigstens die resultirenden), indem sie zuerst Diamagnetismus, dann Magnetismus hervorbringen, *ihre Richtung umkehren*, und demnach sind wir gezwungen anzunehmen, dass derselbe Magnetpol je nach der verschiedenen Entfernung in derselben Masse diamagnetische oder magnetische Molecularströme hervorruft*), oder dass, was ich für wahrscheinlicher halte, bei Erscheinungen der fraglichen Art immer magnetische und diamagnetische Substanzen gemischt sind, in denen die verschiedenen Molecularströme gleichzeitig stattfinden, und dass dann bei grösserer Entfernung der Pole die diamagnetischen Ströme rascher an Intensität abnehmen, als die magnetischen.**) Wichtig für die Theorie erscheint die Frage, ob hierbei *die verschiedene Entfernung der Pole des Elektromagneten unmittelbar als solche in Betracht kommt*, oder *nur indirekt*, *insofern einer grösseren Entfernung eine Abnahme der Kraft entspricht.* In der ersten dieser beiden Alternativen würde ich die Theorie unbedingt fallen lassen. Denn wenn magnetische und diamagnetische Ströme *bei derselben Magnetkraft mit der Entfernung nach verschiedenem Gesetze abnehmen sollten*, so könnte ich unmöglich beide ihrer Natur nach als *identisch* ansehen. Viel leichter kann ich mir dagegen denken, dass, wenn zwei Kräfte entgegengesetzte Drehungen hervorbringen, diese Drehungen dann, wenn verschiedener Widerstand zu überwinden ist, bei derselben Entfernung nicht den sie hervorbringenden Kräften proportional sind. Nehmen wir zum Beispiel als Bild zwei Räder, welche zwei Kräfte, A und B, nach entgegengesetzter Richtung zu drehen streben, und setzen voraus, dass der Widerstand für die erste Drehungsrichtung viel grösser sei als für die zweite, so kann die Drehung des ersten Rades doch langsamer sein als die Drehung des zweiten, ungeachtet dass die Kraft B bedeutend kleiner ist als die Kraft A, was aber dann nicht mehr der Fall bleibt, wenn bei wachsenden Kräften der Widerstand überhaupt gegen die Grösse der Kraft A nicht mehr in Anschlag zu bringen ist.

*) Die magnetischen Ströme würden wohl, wie im Eisen, als schon vorhanden und vom Magnet nur in gleiche Richtung mit den seinigen gedreht anzusehen sein.

** [Vergleiche hierzu und zum Folgenden die Anmerkung 2 zur 3. Abhandl.]

Die Kraft A entspräche in dieser Anschauung der diamagnetischen, die Kraft B der magnetischen.

7) Um zu bestimmen, welche der beiden Alternativen in dem Falle der Natur stattfinde, stellte ich den folgenden entscheidenden Versuch an.

Ich nahm ein Stückchen Buchsbaumkohle, das bei grösserer Entfernung der Pole des Elektromagneten sich magnetisch, bei geringerem Abstande derselben sich diamagnetisch verhielt. Ich erregte den Strom durch ein *einziges* Grove'sches Element und wählte den Polabstand so, dass das Kohlenstückchen sich entschieden axial stellte; dann nahm ich *zwei* Elemente, wobei es schwer zu bestimmen war, ob es sich magnetisch oder diamagnetisch verhielt; bei *drei* Elementen stellte es sich aber entschieden äquatorial, und die diamagnetische Kraft, die es entschieden in diese Lage brachte, nahm bei der Anwendung von mehr Elementen immer mehr zu. Ich ging hierbei bis zu *sechs* Elementen.

Ein zweiter Versuch mit einem andern Kohlenstückchen gab ein gleiches Resultat, nur dass dasselbe bei *drei* Elementen noch sehr schwach magnetisch, bei *vier* Elementen aber entschieden diamagnetisch sich verhielt.

Durch die Zunahme der Kraft der Magnetpole wird also, bei unveränderter Entfernung, der Magnetismus der Holzkohle in Diamagnetismus verwandelt.

Dieses von mir bisher nicht vermuthete, aber vom rein theoretischen Gesichtspunkte aus zu erwartende Resultat scheint mir eine merkwürdige Bestätigung der von den Herren Faraday, Reich, Weber und Poggendorff adoptirten Theorie des Diamagnetismus zu sein, zu der auch ich mich jetzt entschieden bekenne.

7.

Ueber Intensitätsbestimmung der magnetischen und diamagnetischen Kräfte[1]).

(Annalen der Physik und Chemie, Bd. 74, S. 321—379. 1848.)

§ 1.

Allgemeine Betrachtungen.

1) Unter Intensität des Magnetismus einer Substanz verstehe ich die Intensität derjenigen Kraft, mit welcher die Substanz in der Nähe eines Poles, in Folge der magnetischen Induktion, von demselben angezogen wird. Es kommt zunächst darauf an, einen Gesichtspunkt aufzustellen, unter dem wir diesen Magnetismus, der specifisch von der Natur der Substanz abhängig ist, für verschiedene Substanzen mit einander vergleichen können. Indem wir hierbei von irgend einer Substanz ausgehen, lassen sich alsdann die Intensitäten desselben, ähnlich wie zum Beispiel die specifische Wärme, durch absolute Zahlen ausdrücken.

2) Nehmen wir etwa ein Uhrglas und schleifen den Rand desselben auf einer matten Glasplatte so ab, dass diese genau dasselbe verschliesst, so können wir dasselbe mit einer Flüssigkeit bis über den Rand anfüllen und diese dann mit dem als Deckel dienenden matten Glase abstreichen. Dann sind wir sicher, dass die eingeschlossene Flüssigkeit bei *derselben Form* genau dasselbe Volumen einnimmt. Füllen wir nacheinander das Uhrglas mit zwei verschiedenen Flüssigkeiten, und wird dasselbe dann von einem Magnetpole, auf den es immer in gleicher Weise aufgesetzt wird, gleich stark festgehalten, so sind die beiden Flüssigkeiten *gleich stark* magnetisch. Wenn überhaupt die Anziehung der beiden Flüssigkeiten verschieden ist, so setzen wir die Intensität des Magnetismus derselben *dieser Anziehung proportional.* Die Berechtigung hierzu ist in den nächsten Nummern von theoretischer und experimentaler Seite nachzuweisen.

3) Sind die beiden Flüssigkeiten zum Beispiel Lösungen zweier

verschiedener Eisenverbindungen, und befinden sich im gleichen Volumen von beiden eine gleiche Anzahl von Eisenatomen, so sind in beiden Fällen diese Atome im Innern des Uhrglases ganz in derselben Weise vertheilt und haben gegen den Magnetpol genau dieselbe Lage: das Verhältniss der Anziehung der ganzen Flüssigkeitsmassen ist dann als das Verhältniss des Magnetismus der Eisenatome in der zwiefachen chemischen Verbindung anzusehen. Denn wenn zwei kleinste Theilchen magnetischer Substanzen, nach einander an dieselbe Stelle gebracht, Anziehungen erleiden, die in irgend einem Verhältnisse stehen, so ändert sich dieses Verhältniss auch dann nicht, wenn beide Theilchen nach einander an *dieselbe andere Stelle* gebracht werden: eine Annahme, die wir nothwendig machen müssen, wenn magnetische Kräfte überhaupt in irgend einer bestimmten Weise mit der Entfernung abnehmen sollen. Und aus dieser Annahme folgt dann in mathematischer Weise, dass das Verhältniss der Anziehungen der ganzen Massen auch das Verhältniss der Anziehungen der einzelnen Atome ist: vorausgesetzt nur, *dass die Anziehung jedes einzelnen Atoms, wie sie von dem Magnetpole ausgeht, nicht durch die magnetische Erregung der übrigen Atome gestört wird, und die angezogene Masse nicht rückwirkend den Magnetismus jenes Magnetpols verstärkt.* Unter dieser Voraussetzung bleibt das Verhältniss der Massenanziehung auch dann unverändert, wenn wir die Form des Uhrglases mit irgend einer andern Form vertauschen, die nur *dieselbe* bleiben muss bei den mit einander zu vergleichenden Anziehungen.

Befinden sich da, wo früher ein Eisenatom sich befand, nun zwei, drei Eisenatome, oder ist, mit andern Worten, in demselben Raume nun zwei, drei mal so viel Eisen in einer bestimmten chemischen Verbindung *gleichmässig vertheilt*, so ist nach der obigen Schlussweise die Grösse der Anziehung — in so weit sie unmittelbar von dem Magnetpole ausgeht — offenbar die doppelte, die dreifache.

4) Wenn die in Beziehung auf Magnetismus zu prüfende Substanz von schmalz- oder wachsartiger Consistenz ist, so können wir mit ihr in ähnlicher Weise wie bei Flüssigkeiten genau das Uhrglas anfüllen; ebenso auch, wenn dieselbe sich in feines Pulver verwandeln lässt. In diesem letzteren Falle können wir, um die Anziehung zu schwächen, das Pulver namentlich mit frischem Schweineschmalze höchst gleichmässig vermengen und dann das Gemenge in das Uhrglas bringen.

Nehmen wir zum Beispiel einerseits möglichst fein zertheiltes Eisen und andererseits möglichst fein zertheiltes Nickel, beides *erstens* in gleicher Atomzahl oder auch *zweitens* in gleichem Gewichte, um es mit einer gegebenen Menge Schmalz zu vermengen, und füllen dann

mit dem Gemenge das Uhrglas, so giebt das Verhältniss der Anziehung in der ersten Voraussetzung das *Verhältniss des Magnetismus der Atome der beiden Metalle*, oder, in der zweiten Voraussetzung, *das Verhältniss des Magnetismus dieser Metalle bei gleichem Gewichte.*

5) Um die Stärke der Anziehung zu bestimmen, bringe ich das Uhrglas mit seinem Inhalte und seinem Deckel in einen dünnen Ring von Messing, der an drei etwa 200^{mm} langen Seidenfäden an einer Waage hängt, die hinreichend fein ist, um ein Milligramm anzugeben, und an der ausser der Axe des Waagbalkens kein Eisen sich befindet. Um die Wirkung bei schwachen Kräften zu verstärken, bringe ich das Glas nicht mit einem einzelnen der beiden Pole des grossen Elektromagneten in Berührung, sondern ich lege auf diese die beiden Anker (C) auf*) und nähere dieselben mit ihren abgerundeten Enden so, dass die geringste Entfernung derselben 6^{mm} beträgt, und ajustire die Waage in der Art, dass das Uhrglas in dem Ringe, wenn die Waage tarirt ist, gleichzeitig jeden der beiden Halbanker, und zwar in einem einzigen Punkte, eben berührt. Nach der Erregung des Magnetismus wird das Uhrglas angezogen. In die an dem andern Ende des Waagbalkens aufgehängte Schale wird so lange feiner Bleischrot und dann feiner Sand oder dünnes Papier in kleinen Stückchen aufgelegt, bis das Uhrglas von den Halbankern abgerissen wird. Es findet dies mit der grössten Regelmässigkeit statt, und bei kleineren Kräften differiren, nach einiger Uebung, die Resultate verschiedener Abwägungen unter einander nicht um mehr als ein Paar Milligramme. Das Gewicht des zugelegten Schrotes und Sandes oder Papiers ist das Maass für die jedesmalige magnetische Kraft.

6) So wie wir die Intensität des Magnetismus der verschiedenen magnetischen Substanzen vergleichen können, so können wir auch die relativen Intensitäten des Diamagnetismus der verschiedenen diamagnetischen Substanzen bestimmen. Wir brauchen zu diesem Ende blos die Abstossung, die solche Substanzen durch einen Magnetpol erfahren, zu messen, und können uns hierbei am besten wiederum der Waage mit der in der vorigen Nummer beschriebenen Vorrichtung bedienen. Zu dieser Absicht könnten wir die zu prüfende Substanz ursprünglich so tariren, dass dieselbe die beiden Halbanker eben berührt, und dann, nachdem sie durch Erregung des Magnetismus im Elektromagneten abgestossen worden, die Schale so lange allmälig belasten, bis sie wiederum die beiden Halbanker eben berührt. Oder wir könnten auch bei erregtem Magnetismus die Waage wie oben ajustiren, und wenn dann

*) Vergl. Annalen, Bd. 73, S. 550. [Werke II, Abhandl. 4, S. 36.]

die Substanz in Folge der Unterbrechung des Stromes von den Halbankern nicht mehr abgestossen wird und also auf dieselben sich auflegt, so lange Gewichte in die Waagschale legen, bis die Substanz anfängt, von den beiden Halbankern sich wieder zu entfernen. Ich habe mich indess für ein anderes Verfahren entschieden, *das eine viel genauere Bestimmung zulässt.*

Mein Uhrglas und der Messingring, an dem es aufgehängt wird, sind beide magnetisch; bringe ich daher in ersteres irgend eine diamagnetische Substanz, so ist die Anziehung, die wir beobachten, der Ueberschuss der magnetischen Anziehung jener beiden ersten über die diamagnetische Abstossung dieser letztern. Jene Anziehung war stärker als die diamagnetische Abstossung fast aller von mir untersuchten Substanzen, so dass das gefüllte Glas immer noch von den beiden Halbankern festgehalten wurde und wie ein magnetischer Körper abgezogen werden konnte.

Subtrahiren wir hiernach von der Anziehung des leeren Glases die kleine Anziehung des mit einer diamagnetischen Substanz gefüllten Glases, so erhalten wir die diamagnetische Abstossung, die diese letztere durch den Elektromagneten erfährt. Auf diese Weise können wir den Diamagnetismus der verschiedenen Flüssigkeiten und solcher Körper, denen wir überhaupt, namentlich auch durch Schmelzen, die Form des Innern des Uhrglases geben können, zunächst bei gleicher Form und gleichem Volumen mit einander vergleichen.

7) Um der in der 2. bis 4. Nummer aufgestellten Begriffsbestimmung von einem Molecularmagnetismus und seiner relativen Stärke bei verschiedenen Substanzen eine sichere Basis zu geben, müssen wir vor Allem auf experimentalem Wege nachweisen, dass, wenn in demselben Volumen bei derselben Begrenzung in einem Falle m mal so viel magnetische Molecüle derselben Substanz gleichmässig vertheilt sind, als in einem andern Falle, die resultirende magnetische Anziehung in dem einen Falle m mal so gross ist, als in dem andern — so lange wenigstens, als die magnetische Substanz noch nicht so dicht ist, dass die magnetische Erregung eines Theiles derselben auf die magnetische Erregung des andern Theils einen merklichen Einfluss haben kann.

8) Ich wählte zuerst eine nicht gerade concentrirte *Auflösung von Eisenchlorür*, vermischte einen Theil derselben mit einem gleichen Volumen destillirten Wassers, sodass die Mischung in demselben Volumen nur die Hälfte der ursprünglichen Eisenchlorürlösung — und also auch nur die Hälfte des ursprünglichen Eisenchlorürs, und nur die Hälfte des ursprünglichen Eisens — enthielt. Die Mischung wurde wiederum auf das Doppelte verdünnt, und die so verdünnte Lösung

nochmals auf das Doppelte. Hiernach verhielten sich in den vier Lösungen, die wir durch I, II, III und IV bezeichnen wollen, bei gleichem Volumen die Mengen der gleichmässig vertheilten magnetischen Substanz wie:

8 : 4 : 2 : 1.

Das eben erwähnte Uhrglas wurde zuerst leer, dann mit destillirtem Wasser, endlich nach einander mit den vier Lösungen gefüllt und jedesmal bei der in der fünften Nummer beschriebenen Ajustirung diejenige Kraft bestimmt, mit der es, auf die beiden Halbanker aufgesetzt, von diesen angezogen wurde. Zur Erregung des Magnetismus in dem grossen Elektromagnete wurden sechs Platinelemente angewendet und als Flüssigkeit einerseits käufliche Salpetersäure und andrerseits Schwefelsäure, die dem Volumen nach in dem Verhältnisse von 1 : 12 verdünnt worden war, genommen.*) Die Stromstärke war während der Dauer der Versuche constant. Die zum Abziehen nothwendigen Gewichte waren für

das leere Uhrglas (mit Deckel und Ring)	0,40 gr.
das Uhrglas mit destillirtem Wasser .	0,28 „
„ „ mit der Lösung I . .	3,94 „
„ „ „ „ „ II . .	2,14 „
„ „ „ „ „ III . .	1,23 „
„ „ „ „ „ IV . .	0,72 „

Ziehen wir von den vier zuletzt bestimmten Gewichten die Anziehung, die das Uhrglas mit Deckel und Messingring erleidet, ab, so ergiebt sich die Anziehung der vier Lösungen I bis IV. Während aber in diesen Lösungen das Eisenchlorür *magnetisch angezogen* wird, wird in denselben das Wasser *diamagnetisch abgestossen*, und die eben bestimmte Anziehung ist der Ueberschuss jener Anziehung über diese Abstossung.

Aus den beiden ersten Abwägungen aber ergiebt sich für die diamagnetische Abstossung des Wassers, welches den ganzen inneren Raum des Uhrglases ausfüllt:

0,12 gr.

Vernachlässigen wir also in sämmtlichen Lösungen das Volum des Eisenchlorürs gegen das Volum des Wassers, wobei wir bei den stärkeren Lösungen den grösseren Fehler begehen, so hätten wir überall statt 0,40 gr bloss 0,28 gr abziehen müssen. Genauer aber verfahren wir, wenn wir statt des Eisenchlorürs die Lösung I als die ursprüng-

*) Dasselbe Verhältniss ist annäherungsweise bei allen in dieser Abhandlung beschriebenen Versuchen beibehalten worden.

liche magnetische Substanz betrachten, zu der in den folgenden Lösungen Wasser in gegebenen Proportionen hinzukommt. Die Volumina des hinzukommenden Wassers betragen $^1/_2$, $^3/_4$, $^7/_8$ des ganzen Volums, und die entsprechenden diamagnetischen Abstossungen sind bei der gleichmässigen Vertheilung des Wassers durch den ganzen Raum hiernach die folgenden:

0,06 gr, 0,09 gr, 0,105 gr.

Somit ergeben sich die folgenden Zahlen für die Anziehung der ursprünglichen Eisenchlorürlösung in I bis IV:

I.	3,94 — 0,40	= 3,54	gr.
II.	2,14 — 0,40 + 0,06	= 1,80	„
III.	1,23 — 0,40 + 0,09	= 0,920	„
IV.	0,72 — 0,40 + 0,105	= 0,425	„

Die Anziehung von I ist genau das Achtfache der Anziehung von IV, und es fehlt wenig daran, dass überhaupt die Anziehung der Menge der magnetischen Substanz proportional ist. Berechnen wir, indem wir diese Proportionalität zu Grunde legen, die Anziehung von IV in der Art, dass wir die Summe der Anziehungen durch 15 dividiren, und berechnen hiernach die Anziehung der übrigen Lösungen, so kommt:

I.	3,566	Differenz	—0,026
II.	1,783	„	+0,017
III.	0,891	„	+0,029
IV.	0,446	„	—0,021.

Die Differenzen sind so klein, dass sie innerhalb der Grenzen der Beobachtungsfehler fallen, und somit finden wir bestätigt, *dass die Anziehung der Eisenchlorürlösung der Menge derselben proportional ist, vorausgesetzt, dass dieselbe gleichmässig durch denselben Raum sich verbreitet finde.*

9) Bei einem zweiten Versuche wurde sehr fein zertheiltes Eisen aus der Apotheke genommen, und von demselben

1,6 0,8 0,4 0,2 0,1 gr

jedesmal mit 25 gr frischen Schweineschmalzes in einem Mörser zu einer für das Auge homogenen Masse verrieben. Die fünf Gemenge wollen wir durch I, II, III, IV und V bezeichnen. Das Uhrglas wurde zuerst mit reinem Schmalze angefüllt und dann vom Elektromagnete, der genau wie bei den Versuchen der vorigen Nummer ajustirt war, mit einer Kraft von

0,25 gr

angezogen. Dann wurde das Uhrglas nach einander mit jedem der fünf Gemenge angefüllt, das Gewicht des Gemenges im Uhrglase

(woraus die Menge des in demselben befindlichen Eisens sich berechnen lässt), und endlich das zum Abziehen des Uhrglases nöthige Gewicht bestimmt. Es ergaben sich hierbei die folgenden Resultate[2]):

	Gewicht des Gemenges	Eisenmenge	Anziehung
I.	10,70 gr.	0,6445 gr.	259,95 gr.
II.	10,65 „	0,3302 „	133,60 „
III.	10,15 „	0,1600 „	64,73 „
IV.	10,35 „	0,0822 „	34,65 „
V.	10,15 „	0,0405 „	15,95 „.

Die Zahlen der letzten Vertikalcolumne geben die Anziehung des Eisens in den verschiedenen Schmalzgemengen: es sind die Gewichte, die zum Abreissen des Uhrglases erforderlich sind, vermindert um 0,25 gr, wobei wir, ohne einen merklichen Fehler zu begehen, angenommen haben, dass die Menge des diamagnetischen Schmalzes überall dieselbe geblieben sei.

Wenn wir die Voraussetzung zu Grunde legen, dass die Anziehung des Eisens in den verschiedenen Schmalzgemengen der Masse des Eisens proportional sei, so brauchen wir nur die Zahlen der dritten Vertikalcolumne durch die Zahlen der zweiten zu dividiren, um diejenige Kraft zu erhalten, mit der in den vorigen Versuchen ein Gramm Eisen angezogen wird. Auf diesem Wege findet man die folgenden Zahlen[2]):

I.	404 gr.
II.	405 „
III.	405 „
IV.	422 „
V.	394 „.

Weil Grund vorhanden ist, anzunehmen, dass die Unterschiede nicht von den Abwägungsfehlern herrühren, so nehmen wir das Mittel aus diesen Gewichten selbst und finden dafür:

406,0 gr.

Berechnen wir hiernach die Anziehung der verschiedenen Schmalzgemenge, so erhalten wir statt der früheren Zahlen nun die folgenden[2]):

I.	261,8 gr.	Differenz	−1,85 gr.
II.	134,1 „	„	−0,50 „
III.	65,0 „	„	−0,27 „
IV.	33,4 „	„	+1,25 „
V.	16,45 „	„	−0,50 „.

Die Differenzen, welche keineswegs den Fehlern der Abwägungen beizumessen sind, vermindern sich in Folge der Beobachtung, dass die Stromstärke zuerst zunahm und zuletzt wieder abnahm. Diese Zu- und Abnahme wurde zwar nicht geradezu gemessen, aber die ungefähre Abschätzung erklärte die obigen Abweichungen, und es möchte nur das Gewicht der *ersten* Abwägung *um ein Weniges hinter demjenigen zurückbleiben,* welches die Rechnung giebt, wenn wir die späteren Abwägungen zu Grunde legen.

10) Statt die Stärke des Stromes, durch welchen der Magnetismus im Elektromagneten hervorgerufen wird, unmittelbar nach dem gewöhnlichen Verfahren, durch Einschaltung einer Boussole, zu controliren, scheint mir ein anderes Verfahren für unsre besonderen Zwecke bei Weitem vorzuziehen.

Während der Abwägungen der 8. Nummer blieb die Stromstärke unverändert dieselbe, was daraus erkannt wurde, dass der in dem grossen Elektromagnete hervorgerufene Magnetismus unverändert derselbe blieb. Da die beiden aufgelegten Halbanker während der Dauer der Beobachtung nicht fortgenommen oder auch nur verrückt werden durften, so wurde auf einem derselben an einer beliebig, aber fest bestimmten Stelle ein oben conisch zugespitzter Eisencylinder, 27 ^{mm} hoch und 25 ^{mm} im Durchmesser, aufgesetzt, und der Magnetismus desselben durch dasjenige Gewicht bestimmt, das nothwendig war, um von der Spitze desselben einen kleinen ebenfalls zugespitzten eisernen, 1,7 gr schweren Eisencylinder, der 16 ^{mm} lang und 4,5 ^{mm} dick war, abzureissen. Diese Bestimmung geschah durch Hilfe einer Waage. Sie gab bei den fraglichen Versuchen, wenn der grössere Cylinder auf einem Halbanker, die Mitte derjenigen oberen Kante desselben, welche der Aequatorialebene parallel und am weitesten von ihr entfernt war, berührend, aufstand, 352 gr, und dieses Gewicht änderte sich während der ganzen Zeit der Beobachtung nicht um mehr als ein, höchstens zwei Gramme.

Die fragliche Bestimmung kann in doppelter Weise gemacht werden. Wenn allmälig immer mehr Gewicht zugelegt wird, bis endlich der kleine Eisencylinder abreisst, so trägt der Magnet dasselbe Gewicht, das er vor dem Abreissen zu tragen im Stande war, nun nicht mehr, wenn es mit einem Male angehängt wird. Um die Stärke des Magnetismus zu konstatiren, können wir das erstere, einer allmäligen Belastung entsprechende Gewicht oder auch dasjenige Gewicht nehmen, das er unmittelbar trägt. Ich wähle das erstere, weil es eine genauere Bestimmung zulässt. In dem obigen Beispiele beträgt der Unterschied

der beiden Bestimmungen einige Gramme, der mögliche Fehler in der ersten Bestimmungsweise höchstens ein Paar Decigramme*).

11) In den verschiedenen Punkten der beiden angenäherten Halbanker wächst in Folge der polarischen Induktion die Intensität des Magnetismus keineswegs in gleichem Verhältnisse bei zunehmender Stromstärke. Wenn sich's daher nicht darum handelt, überhaupt zu constatiren, ob die magnetische Anziehung dieselbe bleibe, sondern auch die Kräfte, die zum Abziehen des Uhrglases von den beiden Halbankern nothwendig sind, mit Rücksicht auf geringere Schwankungen in der Stromstärke *zu corrigiren*, so können wir das in der vorigen Nummer entwickelte Verfahren nicht mehr anwenden. Dann müssen wir statt des kleinen zugespitzten Eisencylinders ein mit irgend einer magnetischen Substanz angefülltes Uhrglas, demjenigen möglichst gleich, in welches die übrigen in Beziehung auf Magnetismus zu prüfenden Substanzen gebracht werden, nehmen und dasselbe an der Waage von Zeit zu Zeit in ganz gleicher Weise von den beiden Halbankern abziehen lassen. Die hierzu erforderlichen Gewichte geben offenbar ein Maass für die Intensität des bei den fraglichen Versuchen wirkenden Magnetismus; wir können dieselbe offenbar diesen Gewichten proportional setzen und sie bei Schwankungen der Stromstärke hiernach corrigiren.

Die Nothwendigkeit für die neue Bestimmungsweise ergiebt sich aus den nachstehenden Abwägungen, die zu diesem Ende vorgenommen wurden. Es wurde einmal unter denselben Bedingungen wie in der vorigen Nummer die Kraft bestimmt, die zum Abreissen des kleinen Eisencylinders nöthig war, und das andere mal die Kraft, mit welcher ein Uhrglas mit der Schmalzmischung III, in welcher auf 1000 Theile Schmalz 16 Theile Eisen kommen, auf die beiden genäherten Halbanker gesetzt, von diesen festgehalten wurde. Indem nach einander zur Hervorrufung des Magnetismus 1 bis 4 frisch gefüllte Tröge angewandt wurden, ergaben sich die nachstehenden Resultate:

---

*) Hr. vom Kolke hat in seiner eben erschienenen Inauguraldissertation: *De nova magnetismi intensitatem metiendi methodo ac de rebus quibusdam hoc methodo inventis*, dieses Verfahren angewandt, um die Vertheilung des Magnetismus in den Polflächen des grossen Elektromagneten, in aufgelegten Ankern, in Stahlstäben, numerisch zu bestimmen, den Einfluss der inducirenden Wirkung gleichnamiger und ungleichnamiger Pole zu messen, und ist nach meiner Meinung zu Resultaten gelangt, die vor den nach andern Methoden, namentlich der Coulomb'schen bei Stahlmagneten, zu erhaltenden entschieden den Vorzug verdienen.

Anzahl der Tröge	Anziehung des Cylinders	Anziehung des Uhrglases
1	100,4 gr.	15,46 gr.
2	178,9 „	34,15 „
3	239,6 „	50,15 „
4	294,8 „	60,40 „

12) Die Tragkraft eines Magneten ist ein ganz unbestimmter Begriff vorzüglich aus dem Grunde, weil die Masse des getragenen Ankers hierbei von dem entschiedensten Einflusse ist, und bei verschiedener Masse diese Tragkraft auf das hundert- und tausendfache gesteigert werden kann. Und wie sollten wir diese Masse bei verschiedenen Magneten zur Vergleichung ihrer Tragkraft bestimmen? So lange ferner die in dem Eisen des Ankers oder überhaupt dem angezogenen Körper hervorgerufene magnetische Polarität rückwärts auf die Verstärkung des Elektromagneten wirkt, so lange endlich ein Theil des angezogenen Körpers auf die andern Magnetismus erregend einwirkt, so lange kann von einer *Vergleichung* der Intensität der Kräfte, mit welchen der Magnet anziehend auf verschiedene magnetische Substanzen wirkt, nicht die Rede sein. Ich glaube aber, wir können nach dem Vorstehenden unbedenklich annehmen, dass die fraglichen störenden Wirkungen dann nicht vorhanden sind, wenn Eisen oder Nickel, fein zertheilt, in einer gegen den Magneten wenig empfindlichen Substanz, wie Schmalz, gleichmässig *in nicht zu grosser Menge* vertheilt ist, oder wenn wir die Lösung eines Eisen- oder Nickelsalzes nehmen. Ich halte mich für berechtigt anzunehmen, *dass dann die Anziehung der ganzen Masse der Summe derjenigen Anziehungen gleich ist, welche, wenn wir diese Masse beliebig theilen, der Magnet auf diese Theile einzeln ausüben würde, auch dann, wenn die andern Theile nicht da wären.*

Aber auch dann noch würde unsere Bestimmungsweise der *relativen* magnetischen Intensität verschiedener Substanzen ihre volle Geltung behalten, wenn die Wirkung der sich gegenseitig inducirenden Theile der angezogenen Masse nicht verschwände, sondern bei gleichem Volum und gleicher Begrenzung derjenigen Kraft, mit welcher der Magnet die verschiedenen Substanzen anzieht, proportional wäre.

13) Dass die Anziehung einer compacten Eisenmasse durch einen Magneten nicht die Summe derjenigen Anziehungen ist, die von dem Magneten auf die einzelnen Theile der Masse ausgehen, sondern *dass noch störende Induktionswirkungen hinzukommen,* davon können wir uns leicht durch einen einfachen Versuch überzeugen. Setzen wir nämlich einen Eisenstab auf den Pol eines Magneten auf, so gehört ein gewisses Gewicht A dazu, um denselben abzuziehen. Zerschneiden wir dann den Stab in zwei Theile, setzen den unteren Theil gerade wie früher

auf den Pol, den oberen Theil aber auf irgend eine nicht magnetische Unterlage, die ihn in dem früheren Abstande vom Pole hält, so können wir wiederum durch die Waage zwei Gewichte, B und C, bestimmen, die zum Abreissen der beiden Theile nothwendig sind. Wir finden dann

$$A > B + C.$$

Durch die Induktion der beiden Theile auf einander wird hier also die Anziehung verstärkt.

14) Unsere Auffassungsweise gestattet uns, in jedem vorliegenden Falle *die störenden Induktionswirkungen* zu bestimmen.

Ich hatte zur Messung stärkerer Anziehungen eine uhrglasförmige Schale von Messing anfertigen und den oberen Rand derselben abschleifen lassen, so dass dieselbe mit Flüssigkeiten und Pulvern gerade wie das oben beschriebene Uhrglas gefüllt werden konnte. In das Innere derselben passte genau ein massives Eisenstück, das fortgenommen und durch andere Substanzen, für unsere Zwecke durch fein zertheiltes Eisen und durch eine Schmalzmischung, in welcher auf 25 Theile Schmalz ein Theil dieses Eisenstaubes kam, ersetzt werden konnte. Die Ajustirung war wie bisher, der Abstand der schweren abgerundeten Anker 6^{mm}, nur wurde die Schale nicht unmittelbar auf die Anker aufgesetzt, sondern, um die Kraft zu schwächen, wurde zuerst eine 4^{mm} dicke Glastafel über die Anker gelegt und von daher die Schale abgezogen. Der Magnetismus wurde durch ein Grove'sches Element mit einmal gebrauchter Salpetersäure hervorgerufen. Es ergab sich:

I.	Gewicht des Eisens in der Schale . . .	81,0 gr.
	Anziehung desselben	2187,5 „
II.	Gewicht des Eisenstaubes in der Schale .	32,85 „
	Anziehung desselben	996,0 „
III.	Gewicht der Schmalzmischung in der Schale	10,00 „
	Anziehung derselben	12,80 „ .

Die Anziehung der Schale selbst mit Glasdeckel, die 8,36 gr betrug, ist überall bereits in Abzug gebracht worden.

Wenn wir hiernach die Anziehung berechnen, die ein Gramm Eisen bei den drei verschiedenen Abwägungen erfährt, so finden wir

I.	für das massive Eisenstück	27,00 gr.
II.	für den Eisenstaub	30,32 „
III.	für denselben in der Schmalzmischung	33,28 „ .

Wir sehen hieraus, dass die störende Induktionswirkung die auf die Eisenmolecüle stattfindende Totalanziehung *vermindert*. Wenn wir annehmen, dass eine solche störende Wirkung in dem Falle der Schmalz-

mischung verschwindet, was annäherungsweise wenigstens richtig ist, so betrüge die Anziehung des Eisenstücks und des Eisenstaubes, abgesehen von der störenden Induktionswirkung, so wie sie unmittelbar von dem Elektromagneten herrührt, und wie wir sie als *Normalanziehung* bezeichnen wollen, bezüglich:

2795,68 gr. 1114,25 gr.,

mithin kommt auf die störende Induktionswirkung bezüglich

— 608,18 gr. — 118,25 gr.

Es beträgt dies, wenn wir die Normalanziehung der Einheit gleichsetzen, bezüglich

0,186 0,089.

15) In dem Beispiele der 13. Nummer *verstärkt* die störende Induktionswirkung die Normalanziehung; in dem Beispiele der vorigen Nummer *schwächt* sie dieselbe. Wenn wir in diesem letzteren Falle statt von den beiden Halbankern die Schale von einer einzigen Polfläche abgezogen hätten, so würden wir umgekehrt eine störende Induktionswirkung erhalten haben, die die Normalanziehung vermehrt hätte. Der Versuch bestätigt dies augenscheinlich; ich theile indess keine Zahlen mit, weil die *genaue* Abwägung, störender Einflüsse wegen, mit einiger Schwierigkeit verbunden ist.

Denken wir uns auf demselben Pole zwei Eisenstäbe auf einander aufgesetzt, so werden, in Folge der ursprünglichen Einwirkung des Elektromagneten, an der Berührungsstelle beider ungleichnamige Pole hervorgerufen, die sich *gegenseitig verstärken.* Werden hingegen zwei Stäbe, von einem Pole zum andern, eine Brücke bildend, auf einander gelegt, so werden in den beiden Stäben in Folge der ursprünglichen Einwirkung gleichnamige Pole an den entsprechenden Enden hervorgerufen; und diese Pole *schwächen sich* durch ihre gegenseitige Einwirkung. Während also in dem ersten Falle die störende Induktionswirkung den im Eisen hervorgerufenen Magnetismus nothwendig verstärkt, muss sie denselben im zweiten Falle schwächen.

Auf diese Weise scheint sich Alles vollständig zu erklären*).

§ 2.

Vergleichung der Intensität des Magnetismus verschiedener Substanzen.

16) Unsere Bestimmungsweise besteht nach dem vorigen Paragraphen darin, dass wir in denselben Raum, in ein durch einen Deckel

*) Es ist hiernach allerdings sehr wahrscheinlich, dass bei den Schmalzversuchen der 9. Nummer die auf die erste Schmalzmischung kommende Differenz zum Theil wirklich von einer störenden Induktionswirkung herrühre.[3])

abgeschlossenes Uhrglas, verschiedene magnetische Substanzen bringen: dann ist, bei constanter Stromstärke, die Kraft, mit welcher diese Substanzen von dem Elektromagnet angezogen werden, das relative Maass für ihren Magnetismus. Dividiren wir dasselbe durch das Gewicht der Substanzen, so ergeben sich Zahlen, die die relativen Intensitäten des Magnetismus dieser Substanzen bei gleichem Gewichte darstellen.

Wir befinden uns hier auf einem neuen Felde physikalischer Untersuchungen, wo eine Menge von Fragen uns entgegentreten, deren Beantwortung von mehrseitigem Interesse ist, Fragen, die zum Theil tief in das Wesen der Chemie eingreifen. Ich konnte mir bis jetzt nur reines Nickeloxyd, nicht aber reines Nickel selbst und die andern magnetischen Metalle, ausser dem Eisen, verschaffen. Meine Untersuchungen mussten sich also zunächst auf Eisen und seine chemischen Verbindungen beschränken. In welchem Verhältnisse wird die ursprüngliche magnetische Kraft des Eisens geschwächt, wenn zu demselben Sauerstoff getreten ist, um Oxyd zu bilden? wieviel, wenn in dem Hydrat zu dem Oxyd auch noch Wasser getreten ist? wenn das Oxyd mit verschiedenen Säuren zu Salzen sich verbunden hat? wenn diese Salze in Wasser aufgelöst sind? Wie verhalten sich die Oxydsalze zu den Oxydulsalzen? Wie muss ein eisenhaltiges Salz chemisch zusammengesetzt sein, wenn es aufhören soll, magnetisch zu sein?

17) Ich werde zuerst die Resultate zweier Versuchsreihen mittheilen, die wir in eine einzige zusammenziehen können, weil der durch sechs Grove'sche Tröge erregte Elektromagnetismus beidemal gleich stark war und nur sehr geringe Schwankungen machte. Die Abwägungen wurden erst vorgenommen, nachdem beidemal die Kette einige Zeit hindurch gewirkt hatte, und nach jeder Abwägung wurde dieselbe geöffnet.

Die *erste* Versuchsreihe bezog sich auf Lösungen von Eisensalzen in Wasser. Ich nahm 1) salpetersaures Eisenoxyd, dadurch bereitet, dass auf das unten durch II bezeichnete Eisenoxyd, im Ueberschuss, concentrirte Salpetersäure gegossen wurde; 2) salzsaures Eisenoxyd aus demselben Oxyde mit concentrirter Salzsäure bereitet; 3) trocknes neutrales schwefelsaures Eisenoxyd aus dem chemischen Laboratorium, das sich sehr langsam in Wasser aufgelöst hatte; 4) und 5) salzsaures und schwefelsaures Eisenoxydul, am Morgen der Versuche durch Aufgiessen von Salzsäure und Schwefelsäure auf fein zertheiltes Eisen dargestellt. Sämmtliche Lösungen, mit Ausnahme der letzten, waren gesättigt. Das in der zweiten Nummer beschriebene Uhrglas wurde nach einander mit den verschiedenen Lösungen gefüllt, und später der Eisengehalt derjenigen Menge dieser Lösungen, die zu dem Versuche an-

gewandt worden war, bestimmt. Die Anziehung der Lösungen durch den Elektromagneten wurde mit der Anziehung einer Schmalzmischung, in der auf 100 Gewichtstheile Schmalz zwei Gewichtstheile Eisen kamen, verglichen.

Mit derselben Mischung wurden in der zweiten Versuchsreihe zunächst verschiedene Eisenoxyde verglichen, das erste (I) im chemischen Laboratorium, das zweite (II) in der hiesigen chemischen Fabrik für diese Absicht besonders dargestellt; das dritte war faseriger Rotheisenstein (nierenförmig), das vierte ein schöner Eisenglanzkrystall von Elba; dann drei Eisenoxydhydrate, erstens dasjenige, aus welchem das Oxyd I dargestellt worden ist, und das nach direkter Bestimmung 24,24 Proc. Wasser enthielt, zweitens Brauneisenstein, und drittens künstlicher Blutstein, der nach einer späteren Bestimmung 11,55 Proc. Wasser enthielt; ferner ein schöner Krystall von Schwefelkies, endlich Nickeloxydul und Nickeloxydulhydrat, letzteres nach einer ungefähren Bestimmung 24,75 Proc. Wasser enthaltend. Alle diese Körper wurden fein gepulvert und möglichst gleichmässig zusammengedrückt in das Uhrglas gebracht, und ihr Gewicht bestimmt. Die beiden Eisenoxyde, der Rotheisenstein und das Nickeloxydul wurden, nachdem sie gepulvert worden waren, unmittelbar vorher bei einer Temperatur von 100° C. ausgetrocknet.

18) Die erlangten Resultate sind in folgender Tabelle zusammengestellt. Die *erste* Columne A enthält die unmittelbar bestimmten Gewichte der verschiedenen untersuchten Substanzen, die *zweite* B die Menge des in denselben enthaltenen Metalls. Für die fünf Lösungen sind diese Mengen durch die chemische Analyse bestimmt worden, für die übrigen Metallverbindungen berechnet. Die *dritte* Columne C enthält die Totalanziehung der untersuchten Substanzen; hierbei ist jedesmal von dem Gewichte, durch welches das gefüllte Uhrglas abriss, 0,41 gr., nämlich dasjenige Gewicht, durch welches das leere Uhrglas abriss, abgezogen. Die *vierte* Columne D giebt den Quotienten, den man erhält, wenn man die Totalanziehung durch das Gewicht der Substanz dividirt, also das relative Maass des Magnetismus der Substanz bei gleichem Gewichte. Die *fünfte* Columne E giebt das relative Maass des Magnetismus des Eisens oder Nickels in den verschiedenen chemischen Verbindungen. Für die festen Stoffe ergiebt sich dasselbe unmittelbar, indem man die Totalanziehung durch das Gewicht des Metalls in denselben dividirt, bei den Lösungen ist hier aber, indem wir auf den Diamagnetismus des Wassers in denselben Rücksicht nehmen, zuvor noch eine kleine Correction in der Totalanziehung C zu machen. Statt aber, ähnlich wie in der 8. Nummer, in jeder Lösung

die Menge des Wassers und die entsprechende diamagnetische Abstossung zu berechnen, wollen wir hier, der Einfachheit wegen, annäherungsweise die Totalanziehung jeder dieser Lösungen um 0,1 gr. vermehren.

	A	B*)	C	D	E
Salpetersaures Eisenoxyd. Lösung.	14,55 gr.	1,212 gr.	2,502 gr.	0,172	2,064
Salzsaures Eisenoxyd. „	16,475 „	2,218 „	8,240 „	0,500	3,723
Schwefelsaures Eisenoxyd. „	18,25 „	2,243 „	5,335 „	0,292	2,379
Salzsaures Eisenoxydul. „	16,535 „	2,825 „	7,095 „	0,429	2,501
Schwefelsaures Eisenoxydul. „	—	0,445 „	1,350 „	—	3,034
Schmalzmischung 50:1	8,225 „	0,161 „	82,37 „	10,014	510,74
Eisenoxydul I. Gepulvert.	12,188 „	8,582 „	31,210 „	2,561	3,658
Eisenoxydul II. „	14,825 „	10,377 „	21,690 „	1,463	2,090
Rotheisenstein. „	28,55 „	19,985 „	19,596 „	0,686	0,981
Eisenglanz. „	33,72 „	23,604 „	91,755 „	2,721	3,887
Eisenoxydhydrat. „	16,50 „	8,750 „	13,238 „	0,800	1,513
Brauneisenstein. „	22,70 „	—	8,240 „	0,363	—
Künstl. Blutstein. „	12,45 „	7,708 „	9,618 „	0,773	1,245
Schwefeleisen. „	25,22 „	11,770 „	19,417 „	0,770	1,650
Nickeloxydul. „	14,65 „	11,531 „	2,630 „	0,180	0,228
Nickeloxydulhydrat. „	11,125 „	6,574 „	6,055 „	0,544	0,921

19) Bei einem vorläufigen Versuche war der Magnetismus von vier der obigen Substanzen bereits früher schon mit dem Magnetismus des Eisens verglichen worden. Zur Controle über die Genauigkeit der Methode setze ich, um die neueren Resultate mit den älteren vergleichen zu können, diese hierher, wobei ich mich indess in der nachfolgenden Tafel auf die Columnen *A*, *C* und *D* beschränke.

	A	C	D
Schmalzmischung 25:1	11,57 gr.	232,14 gr.	20,07**)
Eisenoxyd II. Gepulvert	15,12 „	22,94 „	1,517
Rotheisenstein „	28,07 „	19,52 „	0,696
Eisenglanz „	34,17 „	91,20 „	2,669
Brauneisenstein „	24,79 „	9,37 „	0,378

*) Die Gewichte der aus den fünf Lösungen in der angeführten Reihenfolge erhaltenen Oxydmengen betrugen:

1,731 gr.
3,162 „
3,204 „
4,036 „
0,636 „

Ich verdanke diese Bestimmungen, so wie die in der Note zur zweiundzwanzigsten Nummer angeführten, der Güte des Hrn. D. Brandis.

**) [Im Original steht an dieser Stelle die entsprechende in die Columne *E* gehörige Zahl, nämlich 521,75.]

20) Früher noch hatte ich, bei geringerer Stromstärke, den Magnetismus des Eisenoxydhydrats der Tabelle der achtzehnten Nummer mit dem Magnetismus des durch starkes Glühen in einem Ofen daraus dargestellten Oxyds, das ich durch III bezeichnen will, verglichen, und eben so mit dem Magnetismus des damit zugleich bereiteten neutralen schwefelsauren Eisenoxyds, als Pulver, das hernach in Wasser aufgelöst wurde. Aus demselben Hydrate wurde später das Oxyd I dargestellt. In der nachstehenden Tafel sind die erlangten Resultate enthalten:

	A	*C*	*D*
Eisenoxydhydrat	14,47 gr.	7,94 gr.	0,547
Eisenoxyd II	12,85 „	650,68 „	52,687
Schwefelsaures Eisenoxyd	13,10 „	4,95 „	0,379

21) Da nach der Tafel der vorletzten Nummer das relative magnetische Verhalten des Nickeloxyduls und seines Hydrats nach den bisherigen Begriffen über Magnetismus befremdend erschien, so wurde es später nochmals einer besonderen Prüfung unterworfen. Bei dieser ergab sich, unter Anwendung von sechs Trögen und desselben Uhrglases:

	A	*C*	*D*
Nickeloxydul.*) Gepulvert	14,96 gr.	2,58 gr.	0,173
Nickeloxydulhydrat „	11,07 „	6,00 „	0,542

Aus den früheren Versuchen erhält man für das Verhältniss des Magnetismus des Nickeloxyduls und seines Hydrats:

$$\frac{544}{180} = 3{,}022,$$

jetzt finden wir für dasselbe:

$$\frac{542}{173} = 3{,}133.$$

Diese Zahlen stimmen hinreichend überein.

Obgleich das Oxydul aus dem Hydrate dargestellt worden war, so schien es mir doch wünschenswerth, dasselbe Hydrat, das zu den Versuchen gedient hatte, in Oxydul zu verwandeln und dann zu prüfen. Die obigen 11,07 gr. wurden gleich nach Bestimmung ihres Magnetismus in einem Platintiegel längere Zeit geglüht, wonach das Gewicht auf 8,38 gr. sich reducirte. Das so erhaltene Oxydul wurde in dasselbe Uhrglas gebracht, das nun nicht mehr ganz voll wurde; es erfuhr eine

*) [Im Original steht hier und noch mehrmals Nickel*oxyd*; es ist aber jedenfalls immer Nickel*oxydul* NiO gemeint.]

Anziehung von 2,94 gr., obgleich, wenn in dem Hydrate das Oxydul das einzige magnetisch Wirksame ist, diese Anziehung 6 gr. überstiegen haben müsste, weil das Oxydul nun dem Magneten durchschnittlich näher gerückt war.

Die Anziehung des frisch bereiteten Nickeloxyduls übersteigt indess die Anziehung des ursprünglichen, vielleicht weil die Forttreibung des Wassers doch noch nicht vollständig war.

22) Endlich wurde noch eine dritte Versuchsreihe gemacht, deren Resultate ich in folgender, der früheren entsprechenden Tabelle zusammenstelle. Der Magnetismus wurde auch hier durch sechs Grovesche Tröge hervorgerufen.

	A	*B* *)	*C*	*D*	*E*
1 Theil Eisen, 25 Th. Schmalz	10,850 gr.	—	210,866 gr.	—	505,300
1 Th. Magneteisenstein, 25 Th. Schmalz	11,000 „	—	86,135 „	203,592	—
Graubraunstein, vor dem Glühen, gepulvert	23,901 „	—	8,470 „	0,354	—
Graubraunstein, nach dem Glühen, gepulvert	22,869 „	—	18,570 „	0,812	—
Eisenvitriolkrystalle, gepulvert	15,978 „	—	6,300 „	0,394	—
Salpetersaures Nickeloxydul, Lösung	—	1,377 gr.	1,450 „	—	1,053
Salzsaures Nickeloxydul, Lösung	—	1,671 „	1,830 „	—	1,095

Die Anziehung des leeren Uhrglases, des früheren mit einem andern aufgeschliffenen Glasdeckel, zugleich mit diesem und dem Messingring, betrug:

0,375 gr.

und wenn es mit blossem Schmalze gefüllt war:

0,240 gr.

Von den durch die unmittelbaren Abwägungen erhaltenen Anziehungen ist in der dritten Columne bei den Schmalzmischungen die letztere, bei den gepulverten Substanzen die erste Zahl abgezogen worden; bei den Lösungen mit Rücksicht auf den Diamagnetismus des Wassers annäherungsweise:

0,275 gr.

Die in der Columne *D* angegebene Anziehung bezieht sich in dem Falle des (möglichst fein gepulverten) Magneteisensteins auf diesen, abgesehen vom beigemischten Schmalze.

*) Die Gewichte der aus den beiden Lösungen erhaltenen Mengen von Nickeloxydul waren bezüglich

1,751 gr.
2,123 „

Der Graubraunstein bestand aus sehr schönen gepulverten Krystallen, in welchen kein Eisen durch Blutlaugensalz nachweisbar war. Er schien, der bekannten Analyse entsprechend, reines Manganoxydhydrat zu sein. Unmittelbar nach dem Versuche wurde er über der Spirituslampe stark geglüht, um ihm sein Hydratwasser zu nehmen. 9,388 gr. verloren hierbei an Gewicht 1,164. Der einem Atom Wasser entsprechende Gewichtsverlust hätte genau 10 Proc. betragen, der eben gefundene beträgt 12,40 Proc. Es stimmt dieses recht gut mit der Angabe des Herrn Berzelius, dass Manganoxydhydrat durch Glühen sich in Manganoxydoxydul umwandelt, was 13,2 Proc. Verlust erfordern würde. Da das Glühen zwischen den Abwägungen an denselben Mengen erfolgen musste, so konnte dasselbe nicht ganz vollständig sein.

Die Eisenvitriolkrystalle wurden unmittelbar vor dem Versuche aus der Lösung, in der sie sich gebildet hatten, herausgenommen, an der Luft auf Fliesspapier eine halbe Stunde getrocknet und dann gepulvert. Das Pulver wurde, feucht wie es war, in das Uhrglas gebracht, wobei von dem Wasser, das die Krystalle enthielten, nur sehr wenig fortgegangen sein konnte.

Die Nickelsalzlösungen wurden für die Versuche aus dem früher untersuchten Nickeloxydulhydrat durch Auflösen in den Säuren bereitet.

23) Aus den vorstehenden beiden Tafeln habe ich die folgende übersichtliche Zusammenstellung für die Vergleichung der Intensität des Magnetismus verschiedener Substanzen, sowohl für sich, als auch in chemischer Verbindung mit anderen, berechnet, und hierbei die Intensität des Magnetismus des Eisens gleich 100000 gesetzt.

Uebersichtliche Zusammenstellung.[4])

1) Eisen	100000
2) Magneteisenstein	40227
3) Eisenoxyd I	500
4) „ II	286
5) Rotheisenstein	134
6) Eisenglanz	533
7) Eisenoxydhydrat	156
8) Brauneisenstein	71
9) Künstlicher Blutstein	151
10) Trockenes schwefelsaures Eisenoxyd	111
11) Eisenvitriol	78
12) Gesättigte Lösung von salpetersaurem Eisenoxyd	34
13) „ „ „ salzsaurem Eisenoxyd	98
14) „ „ „ schwefelsaurem Eisenoxyd	58

15) Gesättigte Lösung von salzsaurem Eisenoxydul 84
16) Eisenvitriol in seiner Lösung 126
17) Schwefelsaures Eisenoxydul in Eisenvitriol 142
18) Salpetersaures Eisenoxyd in seiner Lösung 95
19) Salzsaures Eisenoxyd „ „ „ 224
20) Schwefelsaures Eisenoxyd „ „ „ 133
21) Salzsaures Eisenoxydul „ „ „ 190
22) Schwefelsaures Eisenoxydul 219
23) Eisenchlorid in der Lösung 254
24) Eisenchlorür „ „ „ 216
25) Eisenkies 150
26) Eisenoxydul in der salzsauren Lösung 381
27) „ „ „ schwefelsauren Lösung 462
28) Eisenoxyd im Hydrate 206
29) „ „ Blutstein 168
30) „ in der salpetersauren Lösung 287
31) „ „ „ salzsauren Lösung 516
32) „ „ „ schwefelsauren Lösung 332
33) Eisen im Magneteisenstein 55552
34) „ „ Oxyd I 714
35) „ „ Oxyd II 401 (409)
36) „ „ Rotheisenstein 191
37) „ „ Eisenglanz 761
38) „ „ Eisenoxydhydrat 296
39) „ „ Blutstein 240
40) „ „ Schwefelkies 321
41) „ „ schwefelsauren Eisenoxyd 396 (349)
42) „ „ Eisenvitriol 385
43) „ in der Lösung von salpetersaurem Eisenoxyd . . . 410
44) „ „ „ „ „ salzsaurem „ . . . 737
45) „ „ „ „ „ schwefelsaurem „ . . . 474
46) „ „ „ „ „ salzsaurem Eisenoxydul . . . 490
47) „ „ „ „ „ schwefelsaurem „ . . . 594
48) Nickeloxydul 35
49) Nickeloxydulhydrat 106
50) Salpetersaures Nickeloxydul in seiner Lösung 65
51) Salzsaures Nickeloxydul „ „ „ 100
52) Nickelchlorür in derselben 111
53) Nickeloxydul im Hydrat 142
54) „ in der salpetersauren Lösung 164
55) „ „ „ salzsauren „ 171

56) Nickel im Oxydul 45
57) „ „ Oxydulhydrat 168 (180)
58) „ in der salpetersauren Lösung 201 (208)
59) „ „ „ salzsauren „ 242 (217)
60) Manganoxydhydrat 70
61) Manganoxydoxydul 167
62) Manganoxyd im Hydrat 78
63) Mangan im Oxydhydrat 112
64) „ „ Oxydoxydul 232

24) Reduciren wir in gleicher Weise die Resultate der Tabelle der neunzehnten Nummer und stellen dieselben mit den entsprechenden, die wir vorstehend erlangt haben, zusammen, so kommt:

	I	II
Eisen	100 000	100 000
Eisenoxyd II	286	291 (289)
Rotheisenstein	134	133,5
Eisenglanz	533	512
Brauneisenstein	71	72

Die Uebereinstimmung der unter verschiedenen Umständen angestellten Beobachtungen lässt, wenn wir den Eisenglanz ausnehmen, nichts zu wünschen übrig. Bei Pulvern liegt eine Fehlerquelle in der ungleichen Zusammendrückung derselben im Uhrglase, und da wohl nicht anzunehmen ist, dass während zweier Monate, während welcher der gepulverte Eisenglanz der Luft ausgesetzt war, derselbe eine chemische Aenderung erlitten habe, so bin ich geneigt, die Differenz in jener Fehlerquelle zu suchen.

25) Während das Eisen für sich so stark magnetisch ist, verliert es in den meisten chemischen Verbindungen seinen Magnetismus in einem so hohen Grade, dass diese bis auf die neueste Zeit als dem Magnete *nicht* folgend, als *nicht magnetisch* angesehen wurden. Zu untersuchen, wie sich das *Eisenoxydul* verhalte, war mir bisher nicht vergönnt; auch nicht *genau zu bestimmen, in welchem Verhältniss die Intensität des Magnetismus des Eisens im reinen Oxyde geschwächt werde.* Je nachdem ich verschiedene der in der Natur vorkommenden und in den Laboratorien bereiteten Eisenoxyde nahm, ergaben sich ganz verschiedene Resultate.

Man könnte denken, dass die verschiedene Intensität des Magnetismus bei den verschiedenen Eisenoxyden mit dem sehr verschiedenen Aussehen, und also dem entsprechenden sehr verschiedenen Molecularzustande, unter dem sich das Eisenoxyd in der Natur sowohl, als in

den Laboratorien bildet, zusammenhinge. Ohne hierüber entschieden absprechen zu wollen, scheint mir indess bis jetzt die andere Annahme mehr begründet, dass die verschiedene Intensität des Magnetismus von einer Beimischung von Oxydul herrühre. Das erste Eisenoxyd, das ich untersucht und in der 21. Nummer durch III bezeichnet habe, war aus dem Hydrate, das in der Tabelle der 18. Nummer vorkommt, durch starkes Glühen in einem Ofen dargestellt worden; es zeigte sich so stark magnetisch, dass es von einem sehr schwachen Magneten getragen wurde. Verglichen mit dem Hydrate fand es sich fast hundert Mal stärker magnetisch, und demnach ergab sich für die Intensität seines Magnetismus:

15 204.

Offenbar ist diesem Oxyd eine namhafte Menge von *Oxydul* beigemischt. Hiernach glaube ich auch voraussetzen zu können, dass das Oxyd I, dessen Magnetismus gleich 500, nicht frei von Oxydul ist und mehr davon enthält, als das Oxyd II. Welche Zahl dem reinen Oxyde entspricht, wage ich nach den vorliegenden Daten noch nicht zu bestimmen. Der Rotheisenstein ist viel schwächer magnetisch, als der Eisenglanz; der von mir untersuchte ist einer chemischen Analyse nicht unterworfen worden; wenn er chemisch rein wäre (er enthielt kein Hydratwasser), so würde ich 134 annäherungsweise für den Magnetismus des Oxyds halten.

Wollten wir aus dem Magnetismus des in dem chemischen Laboratorium bereiteten Eisenoxydhydrats, für den wir 156 gefunden, den Magnetismus des Eisenoxyds in der Voraussetzung ableiten, dass das in dem Hydrate zu dem Oxyde hinzukommende Wasser keinen Einfluss auf den Magnetismus desselben habe, so erhielten wir die Zahl 206, die gegen die letzte Annahme, dass der Rotheisenstein den normalen Magnetismus habe, zu gross wäre. Aber die gemachte Voraussetzung ist durch nichts begründet, und beide Zahlen würden nicht im Widerspruche stehen, wenn (analog wie beim Nickel, nur nicht in demselben Maasse) das im Hydrate hinzukommende Wasser den Magnetismus des Oxyds (Oxyduls) erhöhte.

26) Der starke Magnetismus des Magneteisensteins ist in mehr als einer Beziehung merkwürdig. Der von mir untersuchte, den ich durch die Güte des Hrn. Geheimerath Nöggerrath nebst anderen Mineralien aus den Poppelsdorfer Sammlungen erhalten habe, war aus Schweden und angeblich reines Oxydoxydul, also annähernd 31 Proc. Eisenoxydul und 69 Proc. Eisenoxyd enthaltend. Wollten wir denselben als ein mechanisches Gemenge von Eisenoxyd mit Eisenoxydul betrachten, so erhielten wir für den Magnetismus des Oxyds in dem Gemenge:

$$69 \,.\, 1{,}34 = 92,$$

mithin, wenn wir diese Zahl von dem Magnetismus des Magneteisensteins abziehen, die Zahl 40135 für den Magnetismus der 31 Proc. Eisenoxydul. Reduciren wir diese Zahl auf die bisherige Gewichtseinheit, so kommt

132694

für den Magnetismus des Oxyduls, der mithin den Magnetismus des Eisens selbst übersteigen würde.

Behandeln wir die vorliegende Frage als eine mathematische Aufgabe, so ergäbe sich ein mehr zu erwartendes Resultat, wenn wir die chemische Formel für Magneteisenstein, $FeO + Fe_2O_3$, in die quantitativ gleichbedeutende $2FeO + FeO_2$ verwandelten. Dann enthielte der Magneteisenstein 62,01 Proc. Eisenoxydul, und wenn wir den Magnetismus des hypothetischen FeO_2 ganz vernachlässigen, ergäbe sich, auf die Gewichtseinheit reducirt, für den Magnetismus des Oxyduls:

64870.

27) Sollen wir andererseits annehmen, dass im Magneteisenstein aus der chemischen Verbindung eines stark magnetischen Körpers, des Eisenoxyduls, mit einem schwach magnetischen, dem Eisenoxyd, ein Körper hervorgegangen sei, der noch stärker magnetisch ist als der erste?

Ich wage durchaus noch nicht eine Meinung über die Intensität des Magnetismus des Eisenoxyduls auszusprechen.

28) Es ist wohl die natürlichste Annahme, dass in den meisten Fällen den Oxyden eine kleine Menge von Eisenoxydoxydul beigemengt ist. In dieser Annahme würde zum Beispiel 1 Proc. des letzteren den Magnetismus der übrigen 99 Proc. Oxyd um 402 vermehren, und dann, wenn wir den Magnetismus des Rotheisensteins für das Oxyd zu Grunde legen, als magnetische Intensität

535

sich ergeben, also ganz annäherungsweise die dem Eisenglanze entsprechende. Die Zunahme des Magnetismus in letzterem wäre also durch Beimischung von ungefähr $^1/_3$ Proc. Eisenoxydul hervorgebracht worden. Es würde dieses in dem ganzen Sauerstoffgehalt nur einen Unterschied von ungefähr $^1/_{12}$ Proc. ausmachen, was durch die chemische Analyse wohl schwer zu bestimmen sein möchte.

29) Unter der gemachten Voraussetzung können wir in jedem Falle die Beimischung des Eisenoxydoxyduls berechnen, wenn wir den Magnetismus des zu untersuchenden Oxyds kennen. Nehmen wir zum Beispiel das stark magnetische Oxyd III und machen die Voraus-

setzung, dass dasselbe aus x Proc. Oxyd und y Proc. Oxydoxydul bestehe, so kommt:

$$x + y = 100$$
$$1{,}34 \, . \, x + 402{,}27 \, . \, y = 15204$$

und hieraus:

$$x = 62{,}41, \quad y = 37{,}59,$$

wonach:

Oxyd = 88,35 Procent,
Oxydul = 11,65 „

30) Die chemische Analyse weist in den Körpern in der Regel unmittelbar nur die Mengen der einfachen Stoffe nach, die Art der näheren Verbindung dieser letzteren nur in Folge einer theoretischen Combination. Was das Eisen insbesondere betrifft, so giebt die magnetische Bestimmung auch über den letzteren Punkt unmittelbaren Aufschluss. Turmalin, Staurolith, Basalt, die, zwischen den Magnetpolen aufgehängt, auch in der stärksten magnetischen Flüssigkeit nicht aufhören, magnetisch sich zu verhalten, könnten diesen Magnetismus nicht haben, wenn die verhältnissmässig kleine Menge von Eisen, das sie enthalten, ihnen als Oxyd beigemengt wäre.

Wir werden im folgenden Paragraphen wenigstens an einem auffallenden Beispiele zeigen, wie bedeutende Eisenmengen (bis 12 Proc. ausmachend) in bestimmter chemischer Verbindung ihren Magnetismus ganz verlieren können. Hier kann der Elektromagnet das Vorhandensein des Eisens nicht mehr nachweisen, aber dieses Vorhandensein vorausgesetzt, die Art der Verbindung, in der es vorkommt.

31) Der grosse Unterschied, der in dem magnetischen Verhalten zwischen Oxyd und Oxydul stattfindet, tritt in den *Salzverbindungen* in gleicher Weise nicht mehr hervor. In der Lösung ist schwefelsaures Eisenoxydul zwar stärker magnetisch als schwefelsaures Eisenoxyd, aber nur in dem Verhältnisse wie

219 : 133.

In den Haloïdsalzen, die wir untersucht haben, ist das Verhältniss das umgekehrte. Das salzsaure Eisenoxydul ist schwächer magnetisch als das salzsaure Eisenoxyd, und zwar (in der Lösung) in dem Verhältnisse:

190 : 224,

und ebenso ist Eisenchlorür schwächer als Eisenchlorid im Verhältnisse:

216 : 254.

32) *In den Salzlösungen ist durch das Hinzutreten der Säuren zu dem Oxyde der ursprüngliche Magnetismus dieses letzteren nicht geschwächt.*

In dem Falle der Verbindung mit Salpetersäure zeigte sich durchaus keine Aenderung, vorausgesetzt, dass wir sie mit demjenigen Oxyde zusammenstellen, aus dem sie bereitet worden ist. Die Zahlen, welche den beidesmaligen Magnetismus darstellen, sind 287 und 286. Da aber die letzte Zahl, in Gemässheit der vorstehenden Erörterungen (28), muthmasslich zu gross ist, so hat der Magnetismus des Oxyds durch das Hinzutreten der Salpetersäure wahrscheinlich zugenommen.

Der Magnetismus des Oxyds ist in seiner Verbindung mit *Schwefelsäure* grösser als in seiner Verbindung mit *Salpetersäure*, in seiner Verbindung mit *Salzsäure* grösser als in seiner Verbindung mit *Schwefelsäure*. Das Verhältniss (in seinen Lösungen) ist

$$287 : 332 : 516.$$

33) Nach der übersichtlichen Zusammenstellung der 23. Nummer gewinnt das Eisenvitriol an Magnetismus, *wenn es im Wasser aufgelöst wird*, im Verhältniss

$$78 : 126.$$

Dasselbe scheint auch der Fall zu sein beim wasserfreien schwefelsauren Eisenoxyd. Hier ergiebt sich das Verhältniss

$$111 : 133.$$

Der Magnetismus des trockenen Salzes ist aus einer früher angestellten Vergleichung mit dem Hydrate (dem in der allgemeinen Uebersicht aufgeführten), mit dem es zugleich dargestellt worden ist, berechnet. (Siehe die Tafel der 20. Nummer.)

34) Beim Nickel ist nach der 21. Nummer das ganz unerwartete Verhalten mit Sicherheit constatirt, dass *das Oxydulhydrat viel stärker magnetisch ist als das Oxydul selbst, indem das hinzutretende Hydratwasser den Magnetismus ungefähr auf das Vierfache verstärkt.*

Uebereinstimmend mit dem Eisen hat auch in dem aufgelösten salpetersauren und salzsauren Nickelsalze die zu dem Oxyde hinzugetretene Säure den Magnetismus desselben vermehrt, und die Salzsäure mehr (doch nicht in gleichem Grade, wie beim Eisen), als die Salpetersäure.

35) Das *Mangan* bietet eine merkwürdige Analogie mit dem Eisen dar. Im Falle beider Metalle wage ich darüber noch nicht zu entscheiden, ob das Oxydhydrat, wie im Falle des Nickels, stärker magnetisch sei als das blosse Oxyd. Eine Uebereinstimmung mit dem Eisen liegt aber darin, *dass das Oxydoxydul*, welches im Falle des Mangans durch Glühen des Oxydhydrats entsteht, *bedeutend stärker magnetisch ist, als das Hydrat und wahrscheinlich auch das Oxyd.*

36) Aus der übersichtlichen Zusammenstellung der 23. Nummer

können wir leicht *den relativen Magnetismus der Atome**) der untersuchten Substanzen ableiten. Wenn wir nämlich den relativen Magnetismus des Eisens in den verschiedenen chemischen Verbindungen *bei gleichem Gewichte desselben* bestimmt haben, so ist dies auch der *relative Magnetismus der Atome**) *dieser Substanzen*, vorausgesetzt, dass diese nur *ein einziges* Atom Eisen enthalten. Wenn die zusammengesetzten Atome der Verbindungen zwei, drei Atome Eisen enthalten, so müssen wir, um den Magnetismus jener Atome zu finden, die in der Uebersicht gegebenen Zahlen mit 2, 3 multipliciren. So ist zum Beispiel, wenn wir den Magnetismus des Eisenatoms = 100000 setzen, der Magnetismus eines Atoms Eisenvitriols ($FeSO_4 + 7H_2O$) gleich 385, während der eines Atoms schwefelsauren Eisenoxyds ($Fe_2(SO_4)_3$) gleich $2 \cdot 349 = 798$ ist.

Die allgemeine Uebersicht giebt ferner etwa für den Magnetismus des Nickels im Nickeloxydul die Zahl 45 und im Nickeloxydulhydrat die Zahl 180. Das Verhältniss dieser Zahlen ist zugleich auch das Verhältniss des Magnetismus eines Nickeloxydul-Atoms und des Magnetismus eines Atoms Nickeloxydulhydrats. Um diese Zahlen aber mit den auf Eisen und seine Verbindungen sich beziehenden vergleichen zu können, müssen wir dieselben mit $\frac{369,33}{350,53}$, dem Quotienten des Atomgewichts des Eisens in das Atomgewicht des Nickels, multipliciren.

Zu demselben Ende müssen wir den Magnetismus des Mangans im Oxydhydrat ($Mn_2O_3 + H_2O$), wofür die Uebersicht 116 giebt, zuerst des doppelten Manganatoms wegen mit 2 multipliciren, den Magnetismus des Oxydoxyduls ($MnO + Mn_2O_3$), der gleich 230 bestimmt worden, des dreifachen Mangans wegen mit 3 multipliciren, und dann beide Mal mit $\frac{344,684}{350,527}$, dem Quotienten des Atomgewichts des Eisens in das Atomgewicht des Mangans.**)

---

*) [Pl. gebraucht hier das Wort „Atom“ im Sinne von Molecül.]

**) Es sind Begriffe, die aus ganz verschiedener Auffassungsweise hervorgegangen sind, wenn wir einmal von dem Magnetismus sprechen, den eine gegebene Eisenmenge in verschiedenen chemischen Verbindungen hat, und das andere Mal von dem Magnetismus der Atome dieser verschiedenen Verbindungen sprechen. Dass aber beide Begriffe in genauer Beziehung stehen, ist oben schon ausgesprochen und wird noch klarer durch das Nachstehende. Nehmen wir z. B. Eisen und Eisenoxyd I, so haben wir für das Verhältniss des Magnetismus dieser Substanzen bei gleichem Gewichte, wo etwa ein Gramm von beiden gleichmässig im Innern des Uhrglases vertheilt ist, nach der Tabelle der 23. Nummer das Folgende:

$$100000 : 500.$$

Um hieraus das Verhältniss des *Magnetismus der Atome* abzuleiten, müssen wir die obigen Zahlen bezüglich durch die Anzahl der Atome, die in jedem Gramm beider Substanzen enthalten sind, dividiren oder, was dasselbe ist, mit den be-

37) Nach der vorigen Nummer ist die folgende Tabelle berechnet, welche den Magnetismus der Atome einiger chemischer Verbindungen des Eisens, Nickels und Mangans angiebt.

	Zusammensetzung	Magnetismus des Atoms
1) Eisen	Fe	100000
2) Magneteisenstein	$FeO + Fe_2O_3$	166656
3) Eisenoxyd I	Fe_2O_3	1428
4) Eisenoxyd II	Fe_2O_3	802 (818)
5) Rotheisenstein	Fe_2O_3	382 (392)
6) Eisenglanz	Fe_2O_3	1522
7) Eisenoxydhydrat	$Fe_2O_3 + 3H_2O (2H_2O?)$	592
8) Blutstein	$Fe_2O_3 + H_2O$	480
9) Schwefelkies	FeS_2	321
10) Schwefelsaures Eisenoxyd	$Fe_2(SO_4)_3$	788 (698)
11) Eisenvitriol	$Fe_2SO_4 + 7H_2O$	385
12) Nickeloxydul	NiO	47
13) Nickeloxydulhydrat	$NiO + H_2O$	177 (190)
14) Manganoxydhydrat	$Mn_2O_3 + H_2O$	228 (224)
15) Manganoxydoxydul	$MnO + Mn_2O_3$	708 (696)
In Lösungen.		
1) Schwefelsaures Eisenoxydul	$FeSO_4$	594
2) „ Eisenoxyd	$Fe_2(SO_4)_3$	948 (938)
3) Salpetersaures „	$Fe_2(NO_3)_6$	820
4) „ Nickeloxydul	$Ni(NO_3)_2$	213 (219)
5) Eisenchlorür	$FeCl_2$	490
6) Eisenchlorid	Fe_2Cl_6	1474
7) Nickelchlorür	$NiCl_2$	255 (229)

züglichen Atomgewichten multipliciren. Auf diese Weise kommt im obigen Beispiele:

$$350 \cdot 100000 : 1000 \cdot 500 = 100000 : \frac{1000}{350} \cdot 500.$$

Setzen wir also den Atom-Magnetismus des Eisens wiederum = 100000, so ist derjenige des Oxyds 500, multiplicirt mit dem Atomgewichte desselben und dividirt durch das Atomgewicht des Eisens. — Betrachten wir andererseits eine gegebene Eisenmenge einmal für sich, das andere Mal im Oxyd verbunden mit Sauerstoff, so ist die magnetische Anziehung in beiden Fällen eine verschiedene. Um den Magnetismus des Gramms Eisen in dem Oxyd zu erhalten, müssen wir offenbar den Magnetismus dieses Oxyds, wofür die Tafel der 23. Nummer 500 giebt, mit

$$\frac{1000}{n . 350}$$

multipliciren, wobei n die Anzahl der Eisenatome, die in einem Atome der Verbindung sich finden, hier also 2, bedeutet. — Wir sehen aus diesem Beispiele, dass

Ich brauche wohl nicht ausdrücklich hervorzuheben, dass ich die Zahlen der vorstehenden Tabelle, sowie der früheren, keineswegs als definitiv feststehend betrachte. Sie werden sicherlich eine Correction erhalten und zwar nicht sowohl wegen der Bestimmungswerthe selbst, als wegen der Unsicherheit über die chemische Reinheit der Stoffe, worauf in der Folge bei solchen Bestimmungen hauptsächlich die Aufmerksamkeit zu richten sein wird.

§ 3.

Vergleichung der Intensität des Diamagnetismus verschiedener Substanzen.

38) Ich theile hier zunächst die Resultate zweier Versuchsreihen mit, die nach dem am Ende der 6. Nummer entwickelten Verfahren angestellt worden sind. Der Elektro-Magnetismus wurde beide Mal durch eine Kette von 10 Grove'schen Trögen hervorgerufen, und jedes Mal ungebrauchte Salpetersäure und eine Mischung von 1 Th. Schwefelsäure auf 12 Th. Wasser (dem Volumen nach) genommen. Das Uhrglas mit dem aufgeschliffenen Deckel von Glas wurde nacheinander mit den verschiedenen Substanzen gefüllt und das so gefüllte Uhrglas, wie in der 5. Nummer, auf die beiden, ihre abgerundeten Enden einander zukehrenden Halbanker so aufgesetzt, dass es jeden derselben nur in einem einzigen Punkte berührte. Bei der Bestimmung der alsdann erfolgenden Anziehung des Uhrglases stieg der Beobachtungsfehler sicher nicht bis auf 0,01 gr. Bei den festen Körpern wurde das Gewicht derselben jedesmal bestimmt, bei den flüssigen in der Regel später das specifische Gewicht.

Bei der ersten Versuchsreihe ergab sich:

Anziehung des leeren Uhrglases mit seinem Deckel und dem Messingringe . . . . 0,49 gr.

Anziehung des Uhrglases angefüllt mit

1) destillirtem Wasser . . . . 0,35 „
2) Alkohol I . . . . 0,36 „
3) Schwefeläther . . . . 0,36 „
4) Lösung von gelbem Blutlaugensalz . . . . 0,37 „

---

der Magnetismus des Eisens in irgend einer chemischen Verbindung desselben gleich ist dem Magnetismus der Atome derselben Eisenverbindung, dividirt durch die Anzahl der Eisenatome, die ein Atom dieser Verbindung enthält, vorausgesetzt, dass wir in beiden Fällen das reine Eisen für sich als Vergleichungspunkt nehmen.

5) Lösung von rothem Blutlaugensalz . . . . 0,72 gr.
6) Phosphor . . . . 0,245 „
7) Wismuthoxyd . . . . 0,43 „
8) Schwefelblüthe . . . . 0,39 „
9) Schwefelsäure . . . . 0,40 „

39) Um die Constanz der Kraft des Magneten zu prüfen, wurden zwischen den verschiedenen Bestimmungen Abwägungen eines zweiten mit der Schmalzmischung III (100 Schmalz, 1,6 Eisen) angefüllten, schon in der 11. Nummer erwähnten Uhrglases eingeschaltet. Beim ersten Schliessen der Kette wurde das Uhrglas durch ein Gewicht von 69,9 gr. abgezogen, es nahm dies Gewicht stetig zu, bis es sein Maximum 71,3 gr. erreichte, und nahm dann gegen Ende wieder bis 70,0 gr. ab. Die Abwägungen, welche möglichst rasch auf einander folgten, dauerten drei Stunden. Nach jeder Abwägung wurde die Kette geöffnet; die Anker aber blieben durchaus unverrückt.

Ich habe vorgezogen, in Beziehung auf die anfängliche Zunahme und darauf folgende Abnahme der Kraft des Elektromagneten keine Reduktionen in den Resultaten der Abwägungen anzubringen. Handelt sich's um bloss magnetische Substanzen, so kommen wir offenbar der Wirklichkeit näher, wenn wir die Anziehungen den Gewichten proportional setzen, die in den verschiedenen Momenten zur Abziehung des Normaluhrglases erforderlich sind. Aber nach mehrfachen Beobachtungen und den Erörterungen des folgenden Paragraphen halte ich dieses Verfahren, das auch noch in Folge grösseren Zeitaufwandes die Ungleichheiten in der Stromstärke vergrössert, hier, wo der Elektromagnet auf eine Verbindung von magnetischen und diamagnetischen Substanzen wirkt, für nicht gerechtfertigt. Ueberdies würde die Correction nur einen geringen Einfluss auf das Resultat haben. Ich ziehe daher vor, den Strom von vornherein als constant zu betrachten.

40) Die *zweite* Versuchsreihe wurde am folgenden Tage angestellt; die Halbanker waren unverrückt geblieben, bei Anwendung frischer Säure wurde eine gleiche Kette in Thätigkeit gesetzt. Nachdem dieselbe einige Zeit gewirkt hatte, war zum Abziehen des Probeuhrglases ein Gewicht von 70,5 gr. erforderlich, und dieses Gewicht änderte sich während der weniger langen Dauer der Abwägungen nur um ein paar Decigramme. Auch fand sich die Anziehung des leeren, so wie des mit destillirtem Wasser gefüllten Glases genau wie am vorigen Tage, so dass wir die beiden Versuchsreihen in eine einzige verschmelzen können.

Bei der zweiten Versuchsreihe fand sich die Anziehung des Uhrglases gefüllt mit

1) Alkohol II . . . . 0,32 gr.
2) geschlagenem Ochsenblut . . . . 0,32 „
3) Quecksilber . . . . 0,05 „
4) Schwefelkohlenstoff . . . . 0,31 „
5) Salzsäure . . . . 0,33 „
6) Salpetersäure . . . . 0,39 „
7) Terpentinöl . . . . 0,34 „
8) gepulvertem rothem Blutlaugensalz . . . . 1,49 „
9) gepulvertem Kochsalz . . . . 0,36 „

Die Gewichte der untersuchten festen Substanzen waren:

Phosphor . . . . . 23,30 gr. Wismuthoxyd . . . 14,10 gr.
Schwefelblüthe . . . 11,41 „ Kochsalz . . . . . 13,52 „
rothes Blutlaugensalz . 11,05 gr.

Die specifischen Gewichte wurden, mit Ausnahme für Schwefelkohlenstoff und Terpentinöl, durch unmittelbare Bestimmung gefunden:

Alkohol I . . . . . . 0,813 Schwefelsäure 1,839
Alkohol II . . . . . . 0,851 Salpetersäure 1,502
Schwefeläther . . . . . 0,730 Salzsäure 1,123
Schwefelkohlenstoff . . . 1,263 Lösung von gelbem Blutlaugensalz 1,224
Terpentinöl 0,870
Phosphor 1,72

41) Aus den Bestimmungen der letzten Nummern habe ich die nachstehende Tabelle zusammengestellt:

	Diamagnetische Abstossung	Diamagnetismus bei gleichem Volum	Diamagnetismus bei gleichem Gewicht.
Wasser	0,14 gr.	100	100
Alkohol I (0,813)	0,13 „	93	114
Alkohol II (0,851)	0,17 „	121,4	143
Schwefeläther	0,13 „	93	127
Schwefelkohlenstoff	0,18 „	129	102
Schwefelsäure	0,09 „	64	35
Salzsäure	0,16 „	114	102
Salpetersäure	0,10 „	71	47
Geschlagenes Ochsenblut	0,17 „	121,4	—
Gesättigte Lösung von gelbem Blutlaugensalz . . .	0,12 „	86	70
Gereinigtes Kochsalz, gepulvert	0,13 „	—	93 (79)
Wismuthoxyd, gepulvert	0,06 „	—	40,5 (35)
Schwefelblüthe	0,10 „	—	85 (71)
Terpentinöl	0,15 „	107	123
Quecksilber	0,44 „	314	23
Phosphor	0,245 „	175	102

Die erste Columne der vorstehenden Tabelle giebt die Abstossung, welche die verschiedenen, in das Uhrglas eingeschlossenen Substanzen durch den Elektromagneten erleiden, ausgedrückt in Grammen. In der zweiten Columne ist die diamagnetische Abstossung des Wassers gleich 100 gesetzt und hiernach die Abstossung der übrigen Substanzen berechnet. Diese Zahlen haben eine allgemeine Bedeutung und sind von dem Volumen und der Begrenzung der geprüften Substanzen unabhängig in der Art, dass, wenn wir die verschiedenen Substanzen in eine andere gegebene Form bringen und diese in gleichmässiger Weise von den Polen abziehen, dieselben Zahlen sich ergeben müssen. Für die gepulverten Substanzen sind diese Zahlen fortgelassen, weil sie einer allgemeinen Bedeutung entbehren. In der dritten Columne ist die diamagnetische Abstossung, welche *gleiche Gewichte* der untersuchten Substanzen erleiden, durch Zahlen ausgedrückt, indem wieder die Abstossung des Wassers gleich 100 gesetzt ist. Diese Zahlen geben also die entsprechenden diamagnetischen Abstossungen, wenn wir, in dieselbe gegebene Form gleichmässig vertheilt, gleiche Gewichte der verschiedenen Substanzen bringen. Hier haben auch die den verschiedenen Pulvern entsprechenden Zahlen eine vollkommen bestimmte Bedeutung. Es wurden dieselben mässig stark und jedesmal möglichst gleichförmig in das Uhrglas zuletzt mit dem Deckel eingedrückt. Die Gleichmässigkeit des Eindrückens vorausgesetzt, hat die grössere oder geringere Dichtigkeit auf die Zahlen der dritten Columne keinen Einfluss.

42) An die vorstehende Tabelle knüpfe ich die folgenden Erläuterungen und Bemerkungen.

Das untersuchte Quecksilber aus der hiesigen chemischen Fabrik war rein. Das Uhrglas wurde mit demselben angefüllt, wie mit den anderen Flüssigkeiten, nur hob es, am Rande eine convexe Form annehmend, den Deckel in die Höhe, so dass es da, wo es von den beiden Halbankern am entferntesten war, eine etwas andere Form annahm. Die davon herrührende Verminderung in der diamagnetischen Abstossung halte ich für kaum merklich.

Unreines Quecksilber kann sich magnetisch verhalten (70).

43) Der *Phosphor* wurde in Wasser geschmolzen, in das Uhrglas gegossen und mit dem Deckel abgestrichen. Er erstarrte dann im Uhrglase. Mit eben dieser Phosphormasse waren einige vorläufige Versuche gemacht worden. Insbesondere wurden auch bei einer geringen Stromstärke (der Magnetismus wurde durch bloss vier Grove'sche Tröge hervorgerufen) die Intensitäten der diamagnetischen Abstossung des Phosphors und des Wassers verglichen. Jener wurde mit einer Kraft von 0,14 gr., dieses mit einer Kraft von 0,08 gr. abgestossen,

so dass also die bei *gleichem Volumen* auf Wasser und Phosphor wirkenden diamagnetischen Kräfte sich verhalten wie

100 : 175.

Es stimmt dieses Resultat vollkommen gut mit dem vorstehenden überein. Eine solche Uebereinstimmung von Resultaten, die unter verschiedenen Umständen gewonnen sind, ist eine Bestätigung für die Richtigkeit unserer Auffassungsweise, die wir unmittelbar für den Fall des Magnetismus begründet, auf den Fall des Diamagnetismus aber, in so weit sie die Vergleichung seiner Intensität betrifft, nur nach Analogie ausgedehnt haben.

44) Der *Alkohol* I, den ich in der ersten Versuchsreihe der Prüfung unterworfen, zeigte sich bei gleichem Volum weniger stark diamagnetisch als Wasser, obgleich ein früherer, wenn auch nur vorläufiger, Versuch unzweifelhaft dargethan hatte, dass im Gegentheil Alkohol stärker diamagnetisch ist als Wasser. Es musste mich dies um so mehr befremden, als ich für den früheren Alkohol II gewöhnlichen Brennalkohol von 0,851 spec. Gewichte genommen, den Alkohol I aber aus der hiesigen chemischen Fabrik bezogen hatte. Zur Controle untersuchte ich am folgenden Tage den Alkohol II von Neuem und fand dabei die früheren Resultate bestätigt, sowie auch ganz genau die Abwägung des vorigen Tages mit Alkohol I.

So unwahrscheinlich es mir auch vorkommen musste, dass Alkohol in Verbindung mit weniger Wasser schwächer, in Verbindung mit mehr Wasser stärker diamagnetisch sein sollte, als das reine Wasser, so machte ich doch den direkten Versuch, um hierüber zu entscheiden, indem ich dem Alkohol I Wasser zusetzte. Hierbei änderte sich der Diamagnetismus desselben nur wenig, indem er sich anscheinend dem Diamagnetismus des Wassers — es handelt sich um sehr geringe Grössen — mehr näherte. Hiernach bleibt wohl nur noch übrig anzunehmen, dass der Alkohol I Eisen oder eine andere magnetische Substanz beigemischt enthielt, die er wahrscheinlich bei der Rectificirung aufgenommen hatte.*)

Bei den sehr flüchtigen Flüssigkeiten ist die Verdunstung während des Versuchs eine Fehlerquelle. Der daraus hervorgehende Fehler würde indess den Diamagnetismus der fraglichen Flüssigkeiten zu gross geben, so dass ein solcher keine Erklärung im vorliegenden Falle liefern könnte.

*) Diese Vermuthung wird vielleicht auch noch durch den Umstand unterstützt, dass der gewöhnliche Alkohol mit einer bläulichen, der rectificirte mit einer gelben Flamme brennt.

45) Die drei von mir der Prüfung unterworfenen *Säuren* sind nicht gleich stark diamagnetisch; am stärksten diamagnetisch ist *Salzsäure*, dann kommt *Salpetersäure* und zuletzt *Schwefelsäure*.

46) Vor Allem merkwürdig ist das Verhalten der beiden *Blutlaugensalze*. In der 46. Nummer meiner Abhandlung über die Wirkung der Magnete auf gasförmige und tropfbare Flüssigkeiten*) habe ich beide als diamagnetisch bezeichnet, was bereits auch Hr. Faraday schon gefunden hatte, indem er Krystalle von beiden Salzen schwingen liess. Für das *gelbe Blutlaugensalz* ist die Thatsache unzweifelhaft, wenn ich auch meine Behauptung, dass eine gesättigte Lösung desselben stärker diamagnetisch ist als Wasser, nun zurücknehmen muss. Sie beruhte auf der beobachteten Bewegung, die eine solche Lösung in einem Uhrglase, das auf die einander genäherten Magnetpole gestellt wird, beim Schliessen der Kette annimmt, wobei es auf eine unbestimmte Schätzung ankommt, die, wahrscheinlich der geringeren Durchsichtigkeit wegen, zu Gunsten der Lösung des Blutlaugensalzes ausschlug. Anders aber verhält es sich mit der Behauptung, dass auch das *rothe Blutlaugensalz* diamagnetisch ist: es ist im Gegentheil *entschieden magnetisch*. Wenn meine frühere Beobachtung, über die sich die ursprüngliche Notiz nicht vorfindet, so wie die Faraday'sche zu einer Zeit zurückgeht, in der ich die in meiner Abhandlung über die Abstossung der optischen Axen der Krystalle durch die Pole der Magnete**) beschriebene Erscheinung noch nicht kannte, so lag es nahe, einer richtigen Beobachtung eine falsche Deutung zu geben.

Bei der ersten Versuchsreihe ergab sich eine ziemlich concentrirte Lösung von rothem Blutlaugensalz aus einer hiesigen Apotheke entschieden magnetisch. Die *magnetische Anziehung* derselben betrug 164, wenn wir die entsprechende *diamagnetische Abstossung* des Wassers gleich 100 setzen. Zur Controle untersuchte ich bei der zweiten Versuchsreihe Krystalle von rothem Blutlaugensalz, aus der hiesigen chemischen Fabrik bezogen, die ich fein pulverisirte und dann in das Uhrglas füllte; sie erwiesen sich stark magnetisch, bei gleichem Gewichte wurden sie 7,4 Mal stärker magnetisch angezogen, als Wasser diamagnetisch abgestossen wurde. Ich vermuthete sogleich, dass die gegentheilige Behauptung in einer magnetischen Axenwirkung ihren Grund haben könnte. Um hierüber zu entscheiden, wählte ich zwei Krystalle, einen kleinen, den mir Hr. Prof. Bergemann als chemisch rein gab, und einen grösseren, der schon längere Zeit in meinen Händen war und aus der Schönebecker Fabrik herrührte. Beide Krystalle, mit ihrer

*) Poggendorff's Annalen, Bd. 73, S. 573. [Werke II, S. 55.]

**) Poggendorff's Annalen, Bd. 72, S. 315. [Werke II, Abhandl. 2.]

Längenrichtung horizontal schwingend zwischen den *genäherten* Polspitzen aufgehängt, sprangen beim Schliessen der Kette an die nähere dieser Polspitzen an, und selbst auch dann noch, wenn der Strom, statt durch zehn Tröge, durch einen einzigen derselben erregt wurde. Wenn aber die Krystalle durch Verkürzung oder Verlängerung des Coconfadens, an dem sie hingen, nur um ein Geringes über die Linie der Polspitzen gehoben oder unter dieselbe gesenkt wurden, so stellten sie sich mit Entschiedenheit in die äquatoriale Lage, wie es ein stark diamagnetischer, nicht krystallinischer Körper von derselben Form gethan haben würde. Ich werde hierauf in einer Note zu meiner oben citirten Abhandlung nochmals zurückkommen; hier muss ich abbrechen. Soviel ist aber unzweifelhaft, dass sämmtliches, aus verschiedenen Quellen herrührendes rothes Blutlaugensalz magnetisch ist.

47) Es ist der Magnetismus des rothen Blutlaugensalzes im Gegensatze zum Diamagnetismus des gelben Blutlaugensalzes um so auffallender, als letzteres ($FeCy_2 + 4KCy$) eine Verbindung von Eisencyanür und ersteres ($FeCy_3 + 3KCy$) von Eisencyanid mit Kaliumcyanür, das Cyanid aber eine Verbindungsstufe ist, in der das Eisen gegen das Cyan mehr zurücktritt als im Cyanür. In gewissem Sinne hat das gegenseitige Verhalten des Eisenchlorürs und Eisenchlorids, wo dieses (in der Lösung) zwar nicht *diamagnetisch*, aber doch schwächer *magnetisch**) ist als jenes, hiermit eine Analogie.

Der Magnetismus des rothen Blutlaugensalzes scheint zu stark zu sein, als dass er, was mir einen Augenblick wahrscheinlich vorkam, einer Beimischung von Eisenchlorür, dessen Menge alsdann zu gross sein müsste, zugeschrieben werden könnte.

48) Werfen wir schliesslich noch einen Blick auf die letzte Columne der Tabelle der 41. Nummer zurück, welche *den Diamagnetismus* der verschiedenen Substanzen *bei gleichem Gewichte* angiebt, so fällt in die Augen, dass dieser Diamagnetismus bei allen aufgezählten Substanzen, die keine Mischungen in unbestimmtem Verhältnisse sind, innerhalb der Fehlergrenzen der Beobachtung durch ganz einfache Zahlenverhältnisse sich ausdrücken lässt. Die Abweichung ist am grössten bei Schwefelblüthe und Kochsalz, nämlich $^1/_{19}$, doch hier ist auch wegen des ungleichmässigen Eindrückens der gepulverten Substanz der wahrscheinliche Fehler am grössesten. Die fraglichen einfachen Zahlenverhältnisse sind[5]):

Phosphor, Wasser, Schwefelkohlenstoff, Salzsäure 1
Schwefeläther, Terpentinöl . . . . $^5/_4$
(Schwefelblüthe, Kochsalz . . . . $^3/_4$)

---

*) [Die Worte magnetisch und diamagnetisch sind im Original vertauscht.]

Salpetersäure . . . . $1/_2$
(Wismuthoxyd), Schwefelsäure . . . . $1/_3$
Quecksilber . . . . $1/_4$

Sollte diese Beziehung eine zufällige sein, oder wird sie sich allgemein bestätigen? Wir wollen vorerst abwarten, ob letzteres der Fall sein wird.

§ 4.

Ueber die Vergleichung der Intensitäten der magnetischen Anziehung und diamagnetischen Abstossung.

49) In meiner Abhandlung über das Verhältniss zwischen Magnetismus und Diamagnetismus habe ich*) nachgewiesen, dass, wenn magnetische und diamagnetische Substanzen gemischt sind, und demnach magnetische und diamagnetische Kräfte neben einander bestehen, die erstgenannten Kräfte *mit der Entfernung* langsamer abnehmen, als die letztgenannten; dass hiernach *derselbe Körper* einmal wie ein *magnetischer*, das andere Mal wie ein *diamagnetischer* sich verhalten kann. Es folgt daraus, dass es unmöglich ist, die relativen Intensitäten magnetischer und diamagnetischer Kräfte durch Zahlen allgemein auszudrücken. Denn wie wäre dies möglich, wenn derselbe Körper je nach der Entfernung einmal vom Elektromagnete angezogen, das andere Mal von demselben abgestossen würde, so dass bei demselben Körper die wirksame Kraft nicht nur abnehmen, sondern auch ihr Zeichen ändern kann. In einer späteren Abhandlung über diamagnetische Polarität**) habe ich gezeigt, dass in den oben besprochenen Erscheinungen die Entfernung nicht als solche, sondern nur insofern in Betracht kommt, als mit der Entfernung von den Polen *die Kraft des Elektromagneten abnimmt*, dass wenigstens derselbe Körper von einem *starken* Elektromagneten diamagnetisch abgestossen und unter denselben Verhältnissen von einem *schwächeren* magnetisch angezogen werden kann; dass *bei wachsender Kraft des Elektromagneten der Diamagnetismus in rascherem Verhältnisse zunimmt, als der Magnetismus.* Das in der früheren Abhandlung abgeleitete Gesetz besteht hiernach fort, nur erhält es eine andere theoretische Interpretation und wird erweitert. Jetzt kann, nach meiner Auffassungsweise, gar nicht mehr die Rede davon sein, den Quotienten der magnetischen Anziehung des einen und der diamagnetischen Abstossung des anderen Körpers durch absolute

*) Poggendorff's Annalen, Bd. 72, S. 347. [Werke II, 3. Abhandlung.]
**) Poggendorff's Annalen, Bd. 73, S. 618. [Werke II, 6. Abhandlung, Nr. 7.]

Zahlen auszudrücken: dieser Quotient ist eine Function der Stärke des Elektromagneten.

Ich werde zunächst noch eine Reihe von Beobachtungen beschreiben, die auf den ersten Blick sehr befremden, bei näherer Erwägung aber eine nothwendige Folge aus dem in der vorigen Nummer angeführten Gesetze sind.

50) Bei der Bestimmung der Intensität der diamagnetischen Abstossung des Phosphors wurde, wie oben erörtert, das mit demselben gefüllte Uhrglas an dem einen Ende des Waagbalkens angehängt und so äquilibrirt, dass es dicht über den beiden Halbankern schwebend erhalten wurde. Nach Erregung des Magnetismus durch 10 Grove'sche Tröge wurde es angezogen, und ein Gewicht von ungefähr 0,25 gr., auf die am anderen Ende des Waagbalkens hängende Schale aufgelegt, war erforderlich, um das Uhrglas mit dem Phosphor von den Halbankern abzureissen. Nach dem Abreissen aber wurde das Uhrglas in einer bestimmten Entfernung (von etwa 50^{mm}) von dem Elektromagneten *durch diesen festgehalten* in der Art, dass dasselbe *weiter entfernt* von dem Magnete *angezogen*, *mehr genähert* von demselben *abgestossen* wurde. Beim Oeffnen der Kette entfernte sich das Uhrglas mit dem Phosphor weiter vom Elektromagneten. Bei der Anwendung von bloss zwei Trögen zeigte sich die beschriebene Erscheinung besser noch; ein kleineres Uebergewicht zog dann das Uhrglas schon ab, und dieses kam in einer grösseren Nähe des Elektromagneten in die Ruhe eines stabilen Gleichgewichtes. War diese eingetreten, und wurde dann der Magnetismus aufgehoben, so entfernte sich das Uhrglas ganz von dem Elektromagneten.

Dieselbe Erscheinung zeigte sich bei 10 Trögen sehr gut, wenn der Phosphor aus dem Uhrglase fortgenommen und unmittelbar in den Messingring gelegt wurde. Die Lage des Gleichgewichts fand in diesem Falle in einer Entfernung von 4^{mm} bis 5^{mm} von den beiden Halbankern statt.

51) Wenn endlich Quecksilber statt des Phosphors in das Uhrglas gebracht wurde, wobei das Abreissen desselben bei dem geringen Uebergewichte von 0,05 gr. erfolgte, so kam das Uhrglas in einer ganz geringen Entfernung (etwa 1^{mm}) von den Halbankern in eine stabile Gleichgewichtslage, so dass, aus einiger Entfernung gesehen, dasselbe noch an den Halbankern zu haften schien. Ein namhaftes Uebergewicht war nothwendig, um das Uhrglas von den Halbankern weiter zu entfernen: eine solche Entfernung erfolgte unmittelbar, sobald der Magnetismus aufgehoben wurde. Bei einem andern Versuche wurden 120 gr. Quecksilber in eine unten sphärisch abgerundete Por-

cellanschale gegossen, und diese in einem Messingringe aufgehängt. Da die Anziehung der leeren Schale mit dem Ringe zu schwach war, wurde an dem entsprechenden Waagbalken mit Wachs ein Eisenstäbchen (axial gerichtet) befestigt, wodurch bei 10 Trögen diese Anziehung bis auf 1,20 gr. anstieg. Die Schale mit dem Quecksilber wurde alsdann durch eine Belastung von 0,80 gr. abgezogen, so dass für die diamagnetische Abstossung des Quecksilbers 0,40 gr. sich ergiebt. Die stabile Lage des Gleichgewichts fand bei einer Erhebung von 1^{mm} bis 2^{mm} statt, beim Oeffnen der Kette erhob sich die Schale um mehr als 100^{mm}.

52) Bei den in der vorigen Nummer beschriebenen Versuchen giebt es eigentlich *zwei* Lagen des Gleichgewichts: eine *stabile* in einer gewissen Entfernung von den Halbankern und eine *labile* bei der Berührung der Halbanker. Diese zweite Gleichgewichtslage können wir noch anschaulicher machen. In dieser Absicht füllte ich das Uhrglas mit der Schmalzmischung III der 9. Nummer (auf 100 Gewichtstheile Schmalz 1 Gewichtstheil Eisen) und äquilibrirte dasselbe in einer grösseren Entfernung (127^{mm}) über den beiden Halbankern. Beim Schliessen der Kette von 6 Trögen wurde es (bis auf 116^{mm}) herabgezogen und kam in ein stabiles Gleichgewicht, so dass es, wenn es tiefer mit der Hand herabgedrückt wurde, wieder in die Lage dieses Gleichgewichts zurückkam. Nur durfte bei dem Herabdrücken des Uhrglases eine gewisse Grenze nicht überschritten werden. Diese Grenze (einer Entfernung von 91^{mm} von den Halbankern entsprechend) bezeichnete die Lage des labilen Gleichgewichts. Wurde sie überschritten, so bewegte sich das Uhrglas mit grosser Gewalt und beschleunigter Geschwindigkeit zu den Halbankern, von denen es nur durch ein Gewicht von etwa 80 gr. wieder abgezogen werden konnte.

53) Alle beschriebenen Erscheinungen mit allen ihren Modifikationen finden ihre vollständige Erklärung darin, dass der Elektromagnet hierbei überall auf ein System, eine Verbindung von magnetischen und diamagnetischen Substanzen wirkt, und mit der Kraft des Elektromagneten und also auch mit der Entfernung von demselben der Magnetismus langsamer abnimmt als der Diamagnetismus.[6]) Es tritt hier wirklich ein, was ich schon in der ersten der beiden oben angeführten Abhandlungen, ohne die beschriebenen Erscheinungen zu kennen, aus theoretischen Gründen in den folgenden Worten vorhergesagt hatte. „Aus den gewonnenen Resultaten scheint ferner nothwendig zu folgen, dass derselbe Körper etwa in der Form einer Kugel in kleinerer oder grösserer Entfernung von einem Magnetpole seiner ganzen Masse nach einmal abgestossen, das andere Mal angezogen werden kann.“

54) Könnten wir also die Kraft des Elektromagneten in dem Grade verstärken, dass nicht nur die magnetische Anziehung, sondern auch die diamagnetische Abstossung die Kraft der Schwere überböte, so würde die sonderbare Erscheinung eintreten, *dass ein aus einer gehörigen Mischung von magnetischen und diamagnetischen Substanzen gebildeter Körper, frei in der Luft über den Polen des Magneten schwebend, durch diesen letzteren gehalten würde.* Es liesse sich vielleicht jetzt schon der Versuch ausführen, wenn wir die Pole des Magneten nach unten kehrten, wo dann die Kraft der Schwere grösstentheils durch die nach entgegengesetzter Richtung wirkende magnetische Anziehung, statt durch das Gegengewicht äquilibrirt werden könnte, und dann nur noch der Ueberschuss der magnetischen Anziehung über die Schwere und die diamagnetische Abstossung wirksam blieben.

55) Aus den Versuchen der 50. und 52. Nummer können wir das Verhältniss der Abnahme der magnetischen Kraft zur Abnahme der diamagnetischen Kraft bei wachsender Entfernung *numerisch bestimmen.* Bezeichnen wir zu diesem Ende die Intensität der magnetischen Wirkung, wenn das Uhrglas auf den Halbankern aufliegt, durch M, die Intensität der diamagnetischen Kraft durch D und endlich das zum Abreissen des Uhrglases gerade nothwendige Gewicht durch G, so ist:

$$M - D = G.$$

Nennen wir die Intensitäten der magnetischen und diamagnetischen Kraft in der Entfernung des stabilen Gleichgewichts m und d, so ist wiederum:

$$m - d = G.$$

Die magnetische Anziehung und diamagnetische Abstossung haben also beide um dieselbe Grösse abgenommen. Die relative Abnahme der ersteren ist also kleiner als die relative Abnahme der letzteren, und zwar im Verhältniss $\frac{M}{D}$.

Für das letzte Beispiel der 51. Nummer, wo $M = 1{,}21$, $D = 0{,}40$, $G = 0{,}80$, wurde also, indem die Schale die Halbanker verliess und, um ein Geringes sich erhebend, in die stabile Gleichgewichtslage trat, der Magnetismus der Schale verhältnissmässig *drei Mal* weniger geschwächt als der Diamagnetismus des Quecksilbers.

Die beschriebenen Beobachtungen liefern indess kein reines Resultat, weil Uhrglas und Schale grösstentheils selbst aus diamagnetischen Substanzen bestehen. Um diesen Uebelstand zu vermeiden, müssten wir mit einer bloss diamagnetischen Substanz eine bloss magnetische verbinden, etwa mit Wismuth Eisen, und da auf letzteres der Elektromagnet mit um so sehr viel grösserer Kraft wirkt, beide durch einen

längeren Faden so verbinden, dass das Wismuth bis zur Berührung mit den beiden Halbankern kommen könnte, während das Eisen in grösserer Entfernung über denselben sich befände.

56) Dass der Diamagnetismus bei zunehmender Stärke des Elektromagneten rascher wächst als der Magnetismus, können wir durch direkte Abwägungen bestätigen.

Ich nahm, um dieses vorläufig zu zeigen, eine hohle Halbkugel von Messingblech, die ich wie das Uhrglas aufhing. Ich schmolz in derselben ungefähr 115 gr. Wismuth und liess es wieder erstarren. Die erstarrte Masse konnte herausgenommen und wieder hineingelegt werden. Es betrug, indem nach einander *zwei*, *drei* und *zehn* Tröge angewandt wurden, die Anziehung der leeren Messingschale bezüglich:

0,69 gr. 1,13 gr. 2,15 gr.,

und die Anziehung der Messingschale mit dem Wismuth:

0,53 gr. 0,71 gr. 0,48 gr.,

wonach sich für den Diamagnetismus des Wismuths

0,14 gr. 0,42 gr. 1,67 gr.

ergiebt.

Hätten wir in den vorstehenden Bestimmungen in die zur Aufnahme der Gewichte zum Abziehen bestimmte Waagschale ein Gewicht von 0,60 gr. gelegt, so wäre die Messingschale mit dem Wismuth in der ersten und dritten Bestimmung von dem Elektromagneten *abgestossen*, in der zweiten aber *angezogen* worden.

Um den Bestimmungen dieser Nummer die erforderliche Genauigkeit zu geben, müssten wir sie in der Art modificiren, dass wir einmal die Anziehung rein magnetischer Substanzen, oder solcher Mischungen, in welchen dieselben durchaus vorherrschen, und das andere Mal die Abstossung rein diamagnetischer Substanzen, die wir beide Mal etwa wie früher in dasselbe Uhrglas brächten, bei verschiedenen Stromstärken verglichen.

57) Ich habe schon in der 6. Nummer meiner Abhandlung vom 8. September 1847 [cf. S. 31] aus theoretischen Gründen den Schluss gezogen, *dass wir durch Mischung zweier Substanzen, von denen die eine magnetisch, die andere diamagnetisch ist, keinen Körper darstellen können, der absolut indifferent gegen den Magnetismus sich verhält.* Damals konnte ich dies nur darauf beziehen, dass ein solcher, für einen gegebenen Abstand indifferenter Körper bei Abnahme des Abstandes diamagnetisch, bei Zunahme desselben magnetisch sei. Jetzt können wir dies dahin ausdehnen, dass derselbe Körper, der unter übrigens ganz gleichen Umständen bei schwächerem Magnetismus magnetisch ist, bei wachsen-

der Kraft des Magneten durch den indifferenten Zustand hindurchgehend diamagnetisch werden kann. Eine direkte Bestätigung erschien mir wünschenswerth. Demnach nahm ich ein Gramm Eisenvitriolkrystalle, die sich frisch gebildet hatten und die ich sorgfältig abtrocknete, löste dieselben in 50 gr. destillirten Wassers und füllte mit der Lösung das Uhrglas, das zu den Intensitätsbestimmungen gedient hatte. Wenn der Elektromagnetismus durch zwei Tröge erregt wurde, so zeigte sich nach dem bei jenen Bestimmungen angewandten Verfahren, dass das Uhrglas mit der Füllung etwas stärker angezogen wurde als das leere Uhrglas. Wurden hingegen *zehn* Tröge in Thätigkeit gesetzt, so fand das Umgekehrte statt. Also verhielt sich die Lösung im ersten Falle *magnetisch*, im zweiten *diamagnetisch*. Das Uhrglas mit seinem Deckel und dem Ringe war noch zu stark magnetisch, um solchen Bestimmungen die ganze Genauigkeit zu geben, deren sie fähig sind. Die obige ungefähre Bestimmung des Indifferenzpunktes ist übrigens genauer als die entsprechende der 42. Nummer meiner Abhandlung vom 22. Januar 1848 [cf. S. 54], weil hier die Verdunstung der unverschlossenen Flüssigkeit bei ihrer geringen Menge und grossen Ausbreitung das Resultat stört.

Herr Faraday giebt an, dass 48,6 Gran Eisenvitriolkrystalle einer Wassermenge von 10 Kubikzoll noch nicht den Diamagnetismus nehmen. Es giebt dies, das Gewicht des englischen Kubikzolls Wasser gleich 250,46 Gran gesetzt, das Verhältniss 1 : 52.

58) Wir haben früher (23) den Magnetismus des *im Wasser aufgelösten Eisenvitriols* gleich

$$126$$

gefunden, wobei der Magnetismus des Eisens bei gleichem Gewichte gleich 100000 gesetzt ist. Vertheilen wir gleichmässig in denselben Raum, der früher mit der Gewichtseinheit Eisenvitriol angefüllt war, nun bloss den 50. Theil, so reducirt sich der Magnetismus auf

$$2{,}5.$$

Seine Intensität wäre also nur der 40000. Theil derjenigen, die bei einer Gewichtseinheit Eisen stattfindet.

Nehmen wir dieselbe Zahl als Maass für die diamagnetische Abstossung des Wassers, so würde bei der Anwendung von sechs Grove'schen Trögen ein Gramm Wasser, gleichmässig im Uhrglase vertheilt, eine Abstossung von beiläufig $\frac{500}{40000} = \frac{1}{80}$ gr. erleiden (18). Das Wasser, das das Uhrglas füllt, im Gewichte von 11,5 gr. ungefähr, würde hiernach eine Abstossung von

$$0{,}14 \text{ gr.}$$

erfahren. Diese Zahl ist etwas grösser, als die von der Beobachtung gegebene, es ist diejenige, die wir bei der Anwendung von *zehn* Trögen gefunden haben.

Es erscheint hiernach, indem wir die Aufhebung des Diamagnetismus des Wassers durch den Magnetismus des Eisenvitriols als eine Compensirung betrachten, *dass eine grössere Menge von Magnetismus erforderlich ist, um eine kleinere Menge von Diamagnetismus zu neutralisiren.*

Dieses Resultat, wenn es überhaupt allgemein gültig ist, steht offenbar damit in Verbindung, dass der Magnetismus langsamer mit der Zunahme der Kraft wächst, als der Diamagnetismus, was darauf hinzuleiten scheint, dass der Erregung des letzteren grössere Hemmnisse, eine grössere Coërcitivkraft, entgegenstehen.*)

Nehmen wir in der vorstehenden Entwickelung — offenbar aber mit weniger Grund — statt des Magnetismus des Eisenvitriols in seiner wässerigen Lösung den Magnetismus des festen Eisenvitriols, so würde sich für die diamagnetische Abstossung des Wassers im Uhrglase nur

0,08 gr.

ergeben, was zu wenig wäre, denn diese Abstossung haben wir bei Anwendung von bloss *vier* Trögen gefunden.

§ 5.

Ueber den Einfluss der Wärme auf die Intensität des Magnetismus und Diamagnetismus.

59) Der Einfluss, den die Wärme auf den Magnetismus ausübt, ist Gegenstand vielfältiger Untersuchungen gewesen. Mit Genauigkeit hat man indess nur den Einfluss, den dieselbe auf permanente Stahlmagnete ausübt, untersucht. Dieser permanente Magnetismus wird durch die Weissglühhitze zerstört; zugleich fand man, dass bei dieser Temperatur auch das Eisen der Anziehung des Magneten nicht mehr folgte. Hieran reihen sich die Beobachtungen des Herrn Pouillet, dass Kobalt auch bei der höchsten Temperatur magnetisch bleibt, dass bei zunehmender Wärme Chrom etwas unter der Rothglühhitze, Nickel bei 350° C. und Mangan bei 25° bis 20° C. unter Null aufhört, magnetisch zu sein. Nach Entdeckung des Diamagnetismus lag der Gedanke nahe, dass an diesen Grenzen der magnetische Zustand der Körper in den diamagnetischen übergehen möchte. Aber Herr Faraday fand, dass das weissglühende Eisen, wenn auch nur schwach, doch immer noch merklich magnetisch sich verhielt. Er hat nirgends einen Uebergang

*) Vergl. meine Abhandl. v. 21. Febr. 1848. [Werke II, 6. Abhandl., Nr. 6.]

in den diamagnetischen Zustand bewirken können. Ebensowenig hat er einen Einfluss auf den Diamagnetismus der festen und flüssigen Körper beobachtet. Nur vermuthet er in neuester Zeit, nachdem er gefunden, dass warme Luft stärker diamagnetisch ist als kalte, dass die Wärme den Diamagnetismus aller Körper verstärken möchte. Die Methode unserer Intensitätsbestimmungen giebt auch hier den sichersten Aufschluss.

60) Es wurde eine hohle, halbkugelförmige Schale von Messingblech, 56^{mm} im Durchmesser, mit weissem Sande gefüllt, und in diesen ein kleines Eisenblech horizontal so gelegt, dass der Sand noch eine Schicht von 6^{mm} bis 8^{mm} darüber bildete. An dieser Schale waren drei dünne, übersilberte Kupferdrähte befestigt, die oben zusammenliefen und hier, die Schale tragend, an dem einen Balken der Waage aufgehängt werden konnten. Die Schale mit dem Sande wurde auf einem Kohlenfeuer erwärmt, an die Waage gehängt, äquilibrirt und über die, wie gewöhnlich angenäherten, abgerundeten Halbanker gebracht; dann wurde der Magnetismus durch den Strom eines einzigen Grove'schen Troges erregt, und das Gewicht, das zum Abreissen der Schale nöthig war, bestimmt. Diese Gewichtsbestimmungen wurden während der allmäligen Erkaltung fortwährend wiederholt und zwar, um keine Zeit zu verlieren, in der Weise, dass in die andere Schale der Waage bis zum Abreissen zuerst Schrot und dann feiner Sand allmälig gebracht, und beides zusammen später gewogen wurde. Um die Abnahme der Temperatur, die beim ersten Abreissen 300° C. sein mochte, in etwas zu bestimmen, sind in der nachstehenden Tafel die Momente, in welchen die Schale jedes Mal abriss, zugleich mit dem zum Abreissen erforderlichen Gewichte bemerkt. Hierzu füge ich noch die Bemerkung hinzu, dass nach dem vierten Abreissen die Schale noch zischte, als sie von aussen mit dem nassen Finger berührt wurde. Während dieser Gewichtsbestimmungen wurde der Strom nicht unterbrochen. Die nachstehenden Gewichte sind die unmittelbar zum Abreissen erforderlichen, eine Correction zeigte sich überflüssig, weil die Schale mit dem blossen Sande fast gar nicht vom Elektromagneten afficirt wurde.

Zeit.	Gewicht zum Abreissen.
9^h 50′	153,70 gr.
— 52′ 30″	158,25 „
— 54′	159,80 „
— 56′	161,70 „
— 57′ 30″	162,40 „
— 59′ 15″	163,16 „
10^h 15′	166,75 „

Wir sehen hieraus, wie der Magnetismus des Eisenblechs bei der Erkaltung bis zur Stubentemperatur *stetig zugenommen* hat. Der Unterschied beträgt 8 Proc. der bei dieser Temperatur bestimmten Intensität.

61) Hierauf wurde *Eisenoxyd* untersucht. Ich nahm hierzu statt der Messingschale eine etwas kleinere Porcellanschale, die in einem Messingring an der Waage aufgehängt wurde. Das Oxyd, ungefähr 25 gr., wurde auf wenigstens 400° C. erhitzt, die Temperatur desselben aber mochte bei der ersten Abwägung wieder auf 300° C. gesunken sein. Neue Abwägungen wurden unmittelbar aufeinander folgend vorgenommen, nach der neunten Abwägung ergab sich für die Temperatur des Oxyds noch 30° C.; der Strom wurde durch drei Grove'sche Tröge erregt. Von der beobachteten Anziehung ist die Anziehung der leeren Porcellanschale, die nur 0,14 gr. betrug, jedesmal abgezogen worden.

1.	Abwägung	52,01 gr.
2.	„	56,97 „
3.	„	59,54 „
4.	„	63,04 „
5.	„	65,96 „
6.	„	67,61 „
7.	„	67,91 „
8.	„	68,67 „
9.	„	69,61 „

Der Magnetismus des Eisenoxyds ist also bei der höchsten oben beobachteten Temperatur *um etwas mehr als 25 Proc. geringer, als bei der Temperatur von 30°*. Für dieselben Temperaturen nimmt er beim Eisenoxyd *schneller* ab als beim Eisen.

62) Endlich wurde noch dasjenige Nickeloxydul, dessen Magnetismus früher bestimmt worden war, in ganz gleicher Weise, wie vorstehend das Eisenoxyd, dem Versuche unterworfen. Die Erwärmung war ungefähr dieselbe, aber zur Erregung des Stromes wurden sechs Grove'sche Elemente angewandt. Es ergaben sich die folgenden corrigirten magnetischen Anziehungen:

1.	Abwägung	0,963 gr.
2.	„	0,963 „
3.	„	1,082 „
4.	„	1,150 „
5.	„	1,206 „
6.	„	1,325 „
7.	„	1,482 „

Nach der vierten Abwägung konnte man die Porcellanschale noch nicht ungestraft in der Hand halten, nach der fünften aber schon recht gut. Nach der vorletzten Abwägung hatte die Schale schon nicht mehr die Temperatur des Blutes. Bis hierher wurde das Gewicht, das zum Abreissen erforderlich war, dadurch bestimmt, dass allmälig in die dafür bestimmte Waagschale immer kleinere Papierstückchen gebracht wurden, deren Gesammtgewicht später bestimmt wurde. Von nun an beobachtete man direkt das stetige Zunehmen des Magnetismus noch während 6 bis 8 Minuten, indem man zu dem vorletzten Gewichte allmälig immer mehr zulegen konnte. So gelangte man bis zum letzten Gewichte.

Die obigen Resultate sind darum höchst merkwürdig, weil in der ursprünglichen hohen Temperatur *eine bedeutende Aenderung derselben keine Aenderung in der Intensität des Magnetismus des Nickeloxyduls hervorbrachte.* Die beiden ersten Abwägungen stimmen vollkommen überein. Die folgenden zeigen wenigstens so viel, *dass der Magnetismus bei niederer Temperatur zugleich mit deren Abnahme rascher zunimmt als bei hoher.*

Das Verhalten des Nickeloxyduls steht wahrscheinlich mit der oben erwähnten Beobachtung von Herrn Pouillet in engem Zusammenhange, dass Nickel seinen Magnetismus bei 350° C. aufgiebt, was nach den neueren Untersuchungen wohl nur so viel heissen wird, dass der Magnetismus auf ein Minimum sich reducirt.

Ob diese Grenze, wo der Magnetismus verschwindet, auch für das Nickeloxydul dieselbe sei?

63) Um den Einfluss zu bestimmen, den die Wärme auf den Diamagnetismus der Körper ausübt, nahm ich zuerst Wismuth. Ich schmolz in derselben Messingschale, die schon in der 60. Nummer erwähnt worden ist, 116 gr. dieses Metalls, indem ich dasselbe noch über den Schmelzpunkt hinaus erhitzte und dann über die Magnetpole brachte. Der Magnetismus wurde durch acht Grove'sche Elemente (einmal gebrauchte Salpetersäure) erregt. Nachdem vorher schon für die Anziehung der leeren Schale

1,97 gr.

gefunden worden war, wurde nun in der oben beschriebenen Weise die Anziehung der Schale mit dem geschmolzenen Wismuth bestimmt, und während das Wismuth allmälig erkaltete und erstarrte, wurde, ohne die Kette zu öffnen, mit diesen Bestimmungen fortgefahren, bis dasselbe ungefähr die Stubentemperatur wieder angenommen hatte.

Bei einem ersten Versuche ergaben sich für die zu den auf einander folgenden Abziehungen nothwendigen Gewichte:

0,95, 0,76, 0,41, 0,37, 0,35, 0,235, 0,19, 0,35, 0,38, 0,35, 0,35 gr.

Dieser erste Versuch bewies unzweifelhaft gegen die Erwartung, die ich auf Herrn Faraday's Meinung gegründet hatte, dass die Intensität des Diamagnetismus in höheren Temperaturen abnimmt. Das relative Maass für dieselbe bei den Grenztemperaturen in dem Versuche war:

1,02 gr. und 1,62 gr.

Ein Blick auf die Resultate der Abwägungen lässt vermuthen, dass bei der 6. und 7. Abwägung die Waage nicht ganz in Ordnung war. Dies vorausgesetzt, ändert sich der Diamagnetismus nicht mehr, wenn das Wismuth bei der Erkaltung bis zu einer gewissen Temperatur gekommen ist. Dann enthielte nur noch die drittvorletzte Abwägung einen kleineren Fehler, der sich durch die Art des Verfahrens, da wo Eile nothwendig ist, leicht erklärt.

64) Mit aller Sorgfalt wurde derselbe Versuch in gleicher Weise wiederholt, nur wandte ich 10 Grove'sche Tröge (mit einmal gebrauchter Salpetersäure) an und gab dem geschmolzenen Wismuth eine höhere Temperatur. Die Anziehung der leeren Messingschale betrug:

2,15 gr.

Die dann stetig auf einander folgenden Abwägungen, bei denen durch Papier und feinen Sand tarirt wurde, gaben die nachstehenden Resultate:

	Anziehung der Schale mit Wismuth	Diamagnetismus des Wismuths
1)	1,87 gr.	0,28 gr.
2)	1,49 „	0,66 „
3)	1,11 „	1,04 „
4)	0,94 „	1,21 „
5)	0,79 „	1,36 „
6)	0,68 „	1,47 „
7)	0,64 „	1,51 „
8)	0,62 „	1,53 „
9)	0,57 „	1,58 „
10)	0,42 „ unsicher*)	
11)	0,49 „	1,66 „
12)	0,48 „	1,67 „

Um die Temperatur des Wismuths einigermassen beurtheilen zu können, erwähne ich, dass bei der 4. Abwägung noch flüssiges Wismuth aus

*) Die Schale entfernte sich von den Halbankern, ohne dass unmittelbar vorher Gewicht zugelegt worden. Bei abnehmender Anziehung wäre eine solche Beobachtung die genaueste, wenn nicht die Vermuthung hinzukäme, dass eine unbeachtete Erschütterung Ursache des Abziehens wäre.

dem Innern durch die erstarrende obere Kruste hindurchdrang, dass die Temperatur nach der 10. Abwägung auf 70° bis 80°, nach der 11. auf etwa 55° und nach der letzten auf 40° bis 45° geschätzt wurde. Nach dieser letzten Abwägung überzeugte ich mich bloss, dass die Anziehung constant blieb, sich wenigstens nicht um 5 Milligr. änderte.

65) Hiernach steht also unwiderruflich fest, *dass der Diamagnetismus des Wismuths mit der steigenden Temperatur abnimmt.* Diese Abnahme ist bedeutend. Während des beschriebenen Versuchs stieg die umgekehrt mit abnehmender Temperatur zunehmende Intensität des Diamagnetismus bis auf's *Sechsfache.*

Wollten wir annehmen, dass das Wismuth während der Erkaltung sich oxydirte und dadurch an Gewicht zunähme, oder wollten wir annehmen, dass ein magnetischer Körper (Eisen) demselben noch beigemischt sei, dessen Magnetismus mit der Erkaltung sich verstärkte, so würden beide Ursachen das erlangte Resultat in der Art afficiren, dass der Zuwachs der Intensität des Diamagnetismus des Wismuths nur noch grösser würde.

Das gewonnene Resultat ist besonders darum merkwürdig, weil es die Hypothese, dass Magnetismus und Diamagnetismus, einmal hervorgerufen, eine identische Erregung der Materie seien, dadurch unterstützt, *dass beide in gleicher Weise durch die Wärme modificirt werden,* wie sie bereits auch dadurch schon unterstützt worden ist, *dass beide Polarität zeigen.*

66) An den beschriebenen Versuch, — der auch noch in einer Porcellanschale später wiederholt wurde und ein gleiches Resultat lieferte —, knüpft sich eine Reihe wichtiger Fragen.

Giebt es für den Diamagnetismus eine Grenze, so dass er bei einem bestimmten Temperaturgrade ganz verschwindet oder auf ein Minimum sich reducirt, wie dies beim Magnetismus des Eisens und anderer magnetischer Metalle der Fall ist? Für das Wismuth würde diese Grenze dann zwischen 300° und 400° C. liegen.

67) Während des letzten Versuches änderte das Wismuth seinen Aggregatzustand. Die Aufforderung lag nah, durch Versuche mit anderen diamagnetischen Substanzen zu untersuchen, ob der Uebergang von einem Aggregatzustand zum andern Einfluss auf die Intensität des Diamagnetismus ausübe. Ein solcher ist allerdings durch die letzten Abwägungen nicht geradezu angezeigt.

Ich wählte zuerst *Stearin.* Dasselbe wurde gleich nach dem Versuch am Wismuth in derselben Messingschale geschmolzen und namhaft über den Siedpunkt erhitzt. Es erwies sich bei Anwendung derselben Stromstärke immer *gleich stark diamagnetisch,* auch während der Er-

starrung und bis zur Annahme der Stubentemperatur hin. Wenigstens zeigte sich in der Anziehung der mit Stearin gefüllten Schale kein Unterschied von 5 Milligr.

68) Dann wurden 7,5 gr. Schwefelblüthe genommen, in der halbkugelförmigen Porcellanschale geschmolzen und noch über den Schmelzpunkt erhitzt. Die Schale war oben 45^{mm} weit; da sie aber nicht stark genug magnetisch war, um durch ihre Anziehung die Abstossung des Diamagnetismus der hineingebrachten Substanzen zu überwinden, wurde, ähnlich wie bei einem früheren Versuche schon, oben am entsprechenden Ende des Waagebalkens ein Eisenstäbchen, 60^{mm} lang und 4^{mm} im Durchmesser, axial gerichtet durch Wachs befestigt, wonach bei Anwendung von 10 Trögen mit frischer Salpetersäure ein Gewicht von

1,200 gr.

zum Abziehen der leeren Porcellanschale erforderlich war. Bei Anstellung des Versuchs wie bisher, wo bei jeder Abwägung von Neuem tarirt wurde, ergaben sich, um die Schale mit dem Schwefel, der, ursprünglich im geschmolzenen Zustande, nach der 3. Abwägung zu erstarren anfing, von den Halbankern abzuziehen, die folgenden Gewichte:

1. Abziehung	0,956 gr.	4. Abziehung	0,956 gr.
2. „	0,968 „	5. „	0,956 „
3. „	0,968 „	6. „	0,956 „

Diamagnetismus = 0,244 gr.

Es ist hieraus ersichtlich, dass die Temperatur innerhalb der Grenzen des Versuchs auf den Diamagnetismus des Schwefels durchaus *keinen* oder einen kaum merklichen Einfluss ausübt.

69) In derselben Schale und bei derselben Ajustirung wurde endlich noch Quecksilber, 120 gr. an Gewicht, der Prüfung unterworfen. Hier konnte man, ohne eine Störung in den Versuch zu bringen, nach jeder Abziehung die Temperatur des Quecksilbers durch Eintauchen eines Thermometers bestimmen. Die so bestimmte Temperatur ist indess nur eine angenäherte und etwas geringer als die dem Momente des Abziehens entsprechende.

	Anziehung	Temperatur
1. Abwägung	0,794 gr.	121° C.
2. „	0,788 „	82° „
3. „	0,806 „	62° „
4. „	0,794 „	51° „

	Anziehung	Temperatur
5. Abwägung	0,806 gr.	44° C.
6. „	0,806 „	38° „
7. „	0,806 „	33° „

Diamagnetismus = 0,400 gr.

Auch beim Quecksilber ist hiernach die Intensität des Diamagnetismus bei den verschiedenen Temperaturen *unverändert dieselbe.*

Es controliren sich einander hier die verschiedenen Abwägungen und geben dadurch zugleich einen Maassstab für die Genauigkeit unserer Bestimmungsweise.

70) Ich füge noch einen letzten Versuch an, der, bevor ich im Besitze der passenden Porcellanschale war, mit 144 gr. *unreinen* Quecksilbers in derselben Messingschale, in welcher auch das Wismuth geprüft worden war, angestellt wurde.

Anziehung der leeren Schale 2,15 gr.

	Anziehung der Schale mit Quecksilber.	Temperatur nach der Abziehung.	Diamagnetische Abstossung des Quecksilbers.	Magnetische Anziehung des Quecksilbers.
1)	1,84 gr.	110° C.	0,31 gr.	—
2)	1,82 „	75° „	0,33 „	—
3)	2,28 „	58° „	—	0,13 gr.
4)	2,28 „	45° „	—	0,13 „

Es ist also das angewandte unreine Quecksilber bei höherer Temperatur diamagnetisch, bei niederer magnetisch. Es scheint dies Folge der demselben beigemischten magnetischen Substanzen zu sein, deren Magnetismus bei zunehmender Temperatur abnimmt.

Indem ich hier abbreche, behalte ich mir vor, einen Apparat zum Behufe genauerer Maassbestimmungen zu construiren, wobei ein Thermometer, das in der abzuziehenden Porcellanschale befestigt ist und mit dieser zugleich abgezogen wird, die Temperatur in dem jedesmaligen Momente angiebt, in welchem die Intensität des Magnetismus oder Diamagnetismus der zu prüfenden Substanz bestimmt wird. Dann werde ich auch im Stande sein, metallisches Nickel dem Versuche zu unterwerfen.

8.

On Diamagnetism.

(In a Letter to Mr. Faraday. Philosophical Magazine XXXIII, S. 48—49, 1848.)

Sir,

I have the honour to send you two small memoirs*), which on account of political circumstances have reached me later than usual. I have already mentioned to you the first. The second relates especially to diamagnetic polarity, which is now placed beyond doubt. You will find, among others, the curious fact, that the intensity of the diamagnetic force increases more rapidly when the force of the electro-magnet is increased, than that of the magnetic force. The increase of the force of the electro-magnet impars to a piece of charcoal, having first the position of a magnetic body, that of a diamagnetic body. I have subsequently proved this law in different ways. The following experiment is striking. If by means of a counterpoise any body containing at the same time magnetic and diamagnetic substances (for instance mercury in a brass vessel, this last being magnetic) is held in equilibrium, this body is repelled by the magnet when brought near it, and attracted when it is removed.

I have devised a method which allows of my comparing exactly the intensity of the diamagnetism of the different bodies, solid and liquid, and at the same time I arrived at a number of curious results concerning magnetic induction, and especially the relation between the chemical constitution of bodies and their magnetism. The difficulty of obtaining chemically pure substances presented the greatest obstacles. Thus, for example, $^1/_8$ per cent. of protoxide of iron mixed with a mass of peroxide ought at least to *double* the magnetism. The magnetism of the oxides is *increased* by the acids which unite with them to form salts. Supposing the magnetism of iron = 100000,

*) [Poggendorff's Annalen Bd. 73, S. 549 u. 613, Abhandlung Nr. 4 und 6.]

I find that of a similar weight of oxide of Nickel (NiO) equal to 35, that of the same oxide in the state of hydrate ($NiO + H_2O$) equal to 142. The yellow ferrocyanide of potash is diamagnetic; the red ferridcyanide, on the contrary, (whether in crystal or in powder, or in solution), is decidedly magnetic. (A crystal of this last salt shows very clearly the repulsion of the optical axes by the magnet; without paying attention to it one might easily take it for a diamagnetic body.)

I have examined equally the influence of heat. For mercury, sulphur, stearine, I have not observed the least difference, either at a heigh or low temperature, whether in the liquid or solid state. But bismuth gave very different results. In one of my experiments, it required, at the ordinary temperature, 1,67 grammes to counterbalance the diamagnetic repulsion of a mass of 144 grammes. At an elevated temperature, 0,28 grm., that is to say nearly a sixth, was necessary for this. I see in this a new analogy between magnetism and diamagnetism. They both diminish, if the temperature augments, etc. It appears, moreover, that the diamagnetism of bismuth has its limit (its minimum) like the magnetism of iron and of nickel, etc.

I shall take the liberty to send you my new memoir*), which is now in the hands of M. Poggendorff, as soon as it will appear. Perhaps I shall have the pleasure of bringing it myself to London. Accept, Sir, the assurance of my deep respect.

Bonn, June 5, 1848.

Plücker.

*) [Annalen der Phys. u. Chem. Bd. 74, S. 321—379. Abhandl. Nr. 7.]

9.

Ueber das Verhalten des abgekühlten Glases zwischen den Magnetpolen.

(Aus Poggendorff's Annalen der Physik und Chemie, Bd. **75**, S. 108–110. 1848.)

Nachdem die Abstossung der optischen Axen durch die Pole eines Magneten als eine *allgemeine Eigenschaft* der Krystalle feststand, lag der Gedanke nahe, zu untersuchen, ob das rasch abgekühlte Glas, wie in optischer Hinsicht, so auch in magnetischer ein analoges Verhalten mit den Krystallen zeige.

Da das mir zu Gebote stehende Glas magnetisch war (aber nur so schwach, dass es in einer concentrirten Lösung von Eisenvitriol schwingend sich wie ein diamagnetischer Körper verhielt), wählte ich einen massiven, 7^{mm} dicken Stab dieses Glases und schnitt aus demselben zwei gleiche Cylinder, beide 15^{mm} hoch. Die Cylinder zeigten beide im polarisirten Lichte beim Hindurchsehen nach ihrer Axe ein schwarzes Kreuz und Ringe. Der *erste* Cylinder wurde in einem Kohlenfeuer erwärmt und dann möglichst rasch abgekühlt, wonach das schwarze Kreuz noch entschiedener hervortrat. Der *zweite* wurde erwärmt und langsam abgekühlt, wonach jede Spur des frühern Kreuzes verschwand. Die beiden Cylinder wurden hierauf, horizontal schwingend, an einem Coconfaden aufgehängt und stellten sich zwischen den Polspitzen in Folge des Magnetismus ihrer Masse in gleicher Weise entschieden axial. Der Magnetismus des grossen Elektromagneten wurde hierbei durch 10 Grove'sche Tröge hervorgerufen (die aber bereits so lange gewirkt hatten, dass ihre Kraft im Abnehmen begriffen war). Auf die Pole desselben wurden hierbei die Halbanker B*) aufgesetzt, und die Spitzen derselben einander so weit genähert, dass zwischen denselben und den schwingenden Glas-Cylindern noch ein hinlänglicher Spielraum war.

---

*) Poggendorff's Annalen Bd. **73**, S. 550. [Werke II, S. 36.]

Wenn hiernach der *langsam abgekühlte* Glas-Cylinder durch Aufwickelung des Coconfadens auf die Rolle der Drehwaage gehoben wurde, so verhielt er sich so lange immer noch als magnetischer Körper, bis die Erhebung so gross war, dass keine Einwirkung der Pole mehr beobachtet werden konnte. Bevor diese Entfernung erreicht war, zeigte sich die erlöschende magnetische Einwirkung dadurch, dass der Glascylinder, wenn die Kette geöffnet war und dann geschlossen wurde, sich zwar nicht mehr axial einstellte, aber mit der wachsenden Erhebung immer kleiner werdende Oscillationen nach der axialen Lage hin machte, beim Wiederöffnen der Kette aber Oscillationen in entgegengesetztem Sinne.

Anders verhielt sich der *rasch abgekühlte* Glascylinder. Bei einer gewissen Erhebung (von etwa 60^{mm}) verlor er das Bestreben, sich axial zu richten, und stellte sich, höher gehoben, ganz entschieden, wenn auch mit schwacher Kraft, in die äquatoriale Lage, und die Tendenz, diese Lage zu behaupten, liess sich noch bis zu einer namhaft grösseren Erhebung (von etwa 80^{mm}) nachweisen in ähnlicher Art, wie das rein magnetische Verhalten des langsam abgekühlten Glases. An zwei verschiedenen Tagen wurde dieser Versuch mit immer gleichem Erfolge wiederholt.

Es ist also durch den Versuch nachgewiesen, *dass ein rasch abgekühlter Glascylinder zwischen den Magnetpolen wie ein einaxiger Krystall, wie eine Turmalinsäule zum Beispiel, sich verhält, wobei die Axe des Cylinders die Stelle der optischen Axe einnimmt — und dass er diese Eigenschaft in Folge der raschen Abkühlung erhalten hat.*

Um diese Schlussweise nach jeder Seite hin zu rechtfertigen, ist noch festzuhalten, dass ein aus magnetischen und diamagnetischen Substanzen zusammengesetzter Körper, wie das Glas, in Folge dieser Zusammensetzung bei einer Entfernung von den Polen das diamagnetische Verhalten zwar mit dem magnetischen, nicht aber dieses mit jenem vertauschen kann.

10.

Ueber das Gesetz, nach welchem der Magnetismus und Diamagnetismus von der Temperatur abhängig ist.

(Annalen der Physik und Chemie, Bd. 75, S. 177—189. 1848.)

1) Ich habe bereits in dem 5. Paragraphen meiner Abhandlung [Nr. 7] vom 1. Juni 1848 nachgewiesen, wie beide, sowohl der Magnetismus als auch der Diamagnetismus der Körper, bei zunehmender Temperatur abnehmen. In den Beobachtungen, die ich dort mitgetheilt habe, konnte die einer bestimmten magnetischen Anziehung oder diamagnetischen Abstossung entsprechende Temperatur gar nicht oder, wie im Falle des Quecksilbers, nur ungefähr angegeben werden. Seitdem bin ich und zwar auf demjenigen Wege, der schon in der letzten Nummer der citirten Abhandlung bezeichnet worden ist, zu Maassbestimmungen gelangt, die gestatten, durch continuirliche Curven anschaulich zu machen, wie die Intensität des Magnetismus und des Diamagnetismus bei den verschiedenen Substanzen von der Temperatur abhängig ist. Die Curven für Nickel und Wismuth, die in dieser Hinsicht besonders charakteristisch sind, lassen ein allgemeines Gesetz, das sowohl für diamagnetische als für magnetische Substanzen gilt, durchblicken, und dieses Gesetz wird auch durch die Curven für Eisen, Eisenoxyd und Mangan-Oxyd-Oxydul und ein paar andere Substanzen, die ich bisher genauer untersucht habe, unterstützt.

2) Zuerst muss ich ein paar Worte über den angewandten Apparat und die Art, wie die Versuche angestellt worden sind, vorausschicken. Die Waage, deren ich mich bediente, war eine Körner'sche, die ich so hatte vorrichten lassen, dass sie um eine vertikale Axe drehbar war; der Waagebalken hatte die Form eines Doppelkegels. Die Entfernung der Aufhängepunkte betrug 640^{mm}. In dem einen war an drei feinen 300^{mm} langen Kupferdrähten ein messingener Ring aufgehängt, welcher die 42^{mm} im Durchmesser haltende halbkugelförmige Porcellanschale trug, die von den einander genäherten Halbankern abgezogen werden

sollte. Für diese Halbanker nahm ich die grösseren, die, wie in den vorhergegangenen Versuchen, mit ihren runden Enden einander genähert und in der festen Entfernung von 6^{mm} durch ein dazwischen gebrachtes Messingstück gehalten wurden. Die Porcellanschale berührte dieselben beim Aufstehen nur in zwei Punkten des oberen Randes, wodurch zugleich einer merklichen Erwärmung der Halbanker durch die Schale vorgebeugt war. Drei messingene Bügel, die an den messingenen Ring angeschraubt waren, hielten ein vertical stehendes Thermometer, dessen Kugel in die Schale hinein reichte und von dem Boden derselben nur 2^{mm} bis 3^{mm} abstand. Das Thermometer, dessen Theilung auf einem an der Glasröhre befestigten dünnen Messingstreifen bis zum Siedepunkte des Quecksilbers ging, wurde gleichzeitig mit der Schale von den Halbankern abgezogen. Damit auch Wismuth untersucht werden könnte, war noch die Thermometerkugel von einer dünnen cylindrischen Hülle umgeben, in welche, um den Zwischenraum auszufüllen, einige Tropfen eines flüssigen Amalgams gebracht wurden. Auf diese Weise war das Thermometer gegen den Druck des geschmolzenen und dann wieder erstarrenden Metalls geschützt.

Vor jeder Versuchsreihe wurde die Schale sammt dem Thermometer und angefüllt mit der zu prüfenden Substanz entfernt von den beiden Polen sorgfältig tarirt und dann über die beiden Pole gebracht, wobei man, in Folge der Vorrichtung zum Drehen der Waage, sicher war, dass die Schale immer in denselben beiden Punkten des oberen Randes der Halbanker aufstand. Hierauf wurde derjenige Arm des Waagbalkens, an welchem die Schale hing, so weit gehoben, dass unter dieselbe auf die Halbanker eine Weingeistlampe gestellt werden konnte. Nachdem auf diese Weise die angefüllte Schale erwärmt worden, wurde sie, nachdem der Magnetismus bereits im Elektromagneten erregt worden war, auf die Halbanker herabgelassen, und das zum Abziehen nothwendige Gewicht, sowie auch gleichzeitig die durch das Thermometer angezeigte Temperatur bestimmt. Diese Bestimmungen wurden bis zum Erkalten der Schale fortwährend wiederholt, und während dieser Zeit blieb die Kette geschlossen. Damit bis zum ersten Abziehen der Schale nicht zu viel Zeit verloren ging, war es nothwendig, das dazu erforderliche Gewicht annäherungsweise durch einen vorläufigen Versuch zu kennen, um die Waagschale am anderen Arme des Waagbalkens im Voraus so belasten zu können, dass nur noch ein kleines Gewicht hinzugelegt zu werden brauchte, um das Abziehen zu bewirken. Für dieses letzte Gewicht nehme ich in der Regel ein Schiffchen von Papier und giesse in dasselbe aus einer engen Oeffnung feinen Sand. In dieser Weise kann man die Beobachtungen rasch auf ein-

ander folgen lassen, was namentlich bei der schnellen Abnahme der hohen Temperaturen unerlässliche Bedingung ist.

Nach Beendigung jeder Bestimmungsreihe müssen wir nach Entfernung der Schale von den Polen sehen, ob und wieviel das Gewicht der geprüften Substanz sich geändert habe; dann endlich die leere Schale tariren und ihre Anziehung durch Abziehen bestimmen.

3) Ein Hauptaugenmerk muss bei den fraglichen Intensitätsbestimmungen darauf gerichtet sein, dass der Magnetismus des Elektromagneten während der ganzen Dauer, dass die Abziehungen vorgenommen werden, durchaus constant bleibe, was mit umsomehr Schwierigkeiten verbunden ist, als eine grössere Anzahl von Trögen angewandt wird. Wenn wir, wie bei der Bestimmung des Magnetismus des Eisens und Nickels, nur einen einzigen Trog oder zwei Tröge nehmen, so ist, nachdem die Wirkung etwa eine Viertelstunde gedauert hat, während der folgenden Stunde der Magnetismus als vollkommen constant anzusehen. Es wurde namentlich, um dies zu constatiren, die Schale mit gepulvertem Rotheisenstein gefüllt und durch Gewichte, die erst später bestimmt wurden, von Zeit zu Zeit immer von Neuem wieder abgezogen. Der Magnetismus wurde durch den Strom eines einzigen Grove'schen Elementes, das mit frischer Salpetersäure und einer Mischung von 12 Theilen Wasser und einem Theile Schwefelsäure gefüllt war, hervorgerufen. Die Resultate der Beobachtung sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt, in der die Zeit von dem Momente des Schliessens des Stromes an gerechnet ist.

	Zeit der Beobachtung	Anziehung in Grammen
1)	2′ 20″	2,145
2)	4′ 30″	2,145
3)	8′ 45″	2,155
4)	13′ 32″	2,175
5)	18′ 24″	2,210
6)	23′ 34″	2,185
7)	28′ 58″	2,200
8)	34′ 28″	2,195
9)	40′ 7″	2,200
10)	45′ 20″	2,260
11)	50′ 45″	2,185
12)	55′ 34″	2,175
13)	60′ 25″	2,185
14)	75′ 30″	2,275
15)	88′ —	2,200

	Zeit der Beobachtung	Anziehung in Grammen
16)	103′ —	2,200
17)	— —	2,150
18)	— —	2,150

Während der ersten Viertelstunde hat die Intensität des Magnetismus zugenommen. Schliessen wir hiernach die ersten vier Beobachtungen aus und grösserer Abweichungen wegen auch die 11. und 14., so ergiebt sich als arithmetisches Mittel aus den übrigen bis einschliesslich der 16.

2,1935,

wobei die Fehler sich folgendermassen vertheilen:

+ 0,0165 — 0,0085 + 0,0065 + 0,0015 + 0,0065
— 0,0085 — 0,0185 + 0,0085 + 0,0065 + 0,0065

und ganz innerhalb der Fehlergrenzen der Gewichtsbestimmung liegen. Bei der Art dieser Bestimmung (durch das Aufgiessen des feinen Sandes) können leicht auch *einzelne* grössere Fehler, wie diejenigen der beiden ausgeschlossenen Beobachtungen

+ 0,0665 + 0,0815,

sich einmischen. Die 17. Gewichtsbestimmung ist gemacht worden, nachdem der Strom unterbrochen und wieder geschlossen worden, die 18. nach einer zwiefachen Unterbrechung und Wiederschliessung.

Ich werde in dem Nachstehenden nur diejenigen Resultate mittheilen, die durch mehrere unter verschiedenen Bedingungen angestellte Beobachtungen als übereinstimmend sich erwiesen haben: in dieser Uebereinstimmung erblicke ich einen indirekten Beweis für die Constanz der Kette.

4) *Eisen.* In der Absicht, durch Anwendung einer geringeren Masse die Anziehung zu vermindern, wählte ich ein dünnes Eisenblech, das in seiner Mitte eine runde Oeffnung hatte, um das Thermometer durchzulassen. Ich brachte es so in die zuvor theilweise mit Sand angefüllte Porcellanschale mit dem Thermometer, dass es, den Sand festdrückend, auf die Wände der Schale sich auflegte. Auf das Eisenblech wurde wiederum Sand geschüttet und festgedrückt, so dass dasselbe in horizontaler Lage ziemlich in der Mitte der Schale sich befand und ganz von Sand umgeben war. Hierauf wurde das Ganze in der oben angezeigten Weise bis in die Nähe des Siedepunktes erwärmt, und dann während der Erkaltung öfter die magnetische Anziehung bestimmt. Der Magnetismus wurde durch zwei Grove'sche Tröge erregt. Die Resultate sind in der nachstehenden Tabelle zusammengestellt.

Temperatur		Magnetische Anziehung
330°	C.	96,095 gr.
307°	„	97,130 „
271°	„	98,450 „
243,75°	„	99,360 „
207,5°	„	100,688 „
159°	„	101,995 „
133,75°	„	102,630 „
125°	„	102,865 „
108,75°	„	103,240 „
92,5°	„	103,430 „
75°	„	103,720 „
57,5°	„	103,875 „
45,5°	„	104,050 „
39°	„	104,125 „

Die Anziehung der Schale, mit Sand gefüllt, aber ohne das Eisenblech, war, indem sich der Magnetismus der Schale mit dem Diamagnetismus des Sandes compensirte, so gering, dass sie ganz vernachlässigt werden kann.

Die vorstehenden Resultate lassen sich recht gut durch die Curve I Fig. 15 darstellen: den einzelnen Beobachtungen entsprechen die stärker markirten Punkte.

5) *Nickel.* Das mir zu Gebote stehende Nickel war in Pulverform und nicht ganz frei von Eisen. Ich brachte es zwischen zwei runde, in der Mitte durchbohrte Glimmerblättchen und diese an die Stelle des Eisenbleches in die Porcellanschale, rings umher von Sand umgeben. Auch hier wurden zwei Grove'sche Tröge zur Erregung des Magnetismus in Thätigkeit gesetzt. Da aber der Magnetismus des Nickels in hoher Temperatur so rasch mit der Abnahme derselben an Intensität zunimmt, so konnte das frühere Verfahren hier nicht angewandt werden, weil der Sand nicht so rasch zugegossen werden konnte, als während des Erkaltens die magnetische Anziehung zunahm. Es wurden daher bestimmte Gewichte zum Abziehen in die Waagschale gelegt, und die Temperatur bestimmt, bei welcher diese anfingen, durch die Anziehung des Nickels getragen zu werden. Ein vorläufiger Versuch setzte mich in den Stand, diese Gewichte schicklich zu wählen. Die neue Bestimmungsweise weicht in den Resultaten, die geringer sind, von der früheren etwas ab: sie wurde daher auch consequent für die niederen Temperaturen durchgeführt.

Erste vorläufige Versuchsreihe.

Temperatur	Magnetische Anziehung
340° C.	2 gr.
323,75° „	3 „
310° „	5 „
296,25° „	8 „
283,75° „	18 „
268,75° „	30 „
247,5° „	40 „
232,5° „	46 „

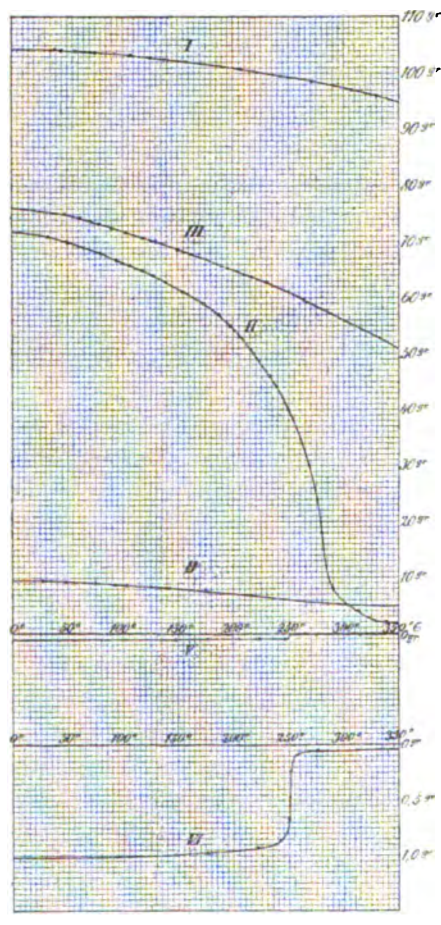


Fig. 15.

Zweite Versuchsreihe.

Temperatur	Magnetische Anziehung
331,25° C.	2,5 gr.
315° „	4 „
305° „	5 „
296,25° „	8 „
281° „	18 „
267,5° „	30 „
250° „	40 „
233,75° „	46 „
222,5° „	50 „
198,75° „	55 „
187,5° „	57 „
172,5° „	59 „
155° „	61 „
140° „	63 „
127,5° „	64 „
117,5° „	65 „
106,25° „	66 „
93,75° „	67 „
80° „	68 „
65°— „	69 „
48,75° „	70 „
32,5° „	71 „

Die Resultate dieser beiden Versuchsreihen, die unmittelbar nach einander angestellt wurden, stimmen recht gut mit einander; die der zweiten Reihe sind in Fig. 15, II, graphisch dargestellt.

6) *Eisenoxyd.* Dasselbe war in den Laboratorien bereitet. Ungefähr 16 gr. desselben wurden fein gepulvert in die Schale gebracht und gleichmässig zusammengedrückt. Sechs Tröge wurden in Thätigkeit gesetzt.

Temperatur	Magnetische Anziehung
264° C.	59,420 gr.
230° „	62,655 „
206° „	64,785 „
190° „	65,825 „
162° „	67,875 „
150° „	68,935 „
130° „	70,215 „
118° „	70,985 „
102,5° „	71,975 „
90,5° „	72,755 „
81° „	73,250 „
70,5° „	73,590 „
61° „	74,335 „
46,75° „	74,985 „

Fig. 15, III giebt die entsprechende Curve.

7) *Mangan-Oxyd-Oxydul.* Ungefähr 16 gr. desselben wurden, wie in der vorigen Nummer das Eisenoxyd, dem Versuche unterworfen.

Temperatur	Magnetische Anziehung
175,5° C.	7,610 gr.
142,5° „	8,010 „
125,5° „	8,345 „
103,5° „	8,665 „
93,5° „	8,820 „
77,5° „	8,975 „
65,5° „	9,110 „
61° „	9,305 „
55° „	9,215 „
48,5° „	9,355 „
44° „	9,435 „
39° „	9,445 „
34,5° „	9,550 „
27° „	9,590 „

IV in Fig. 15 ist die entsprechende Curve. In dieser und der vorhergehenden Nummer ist die Anziehung der leeren von der Anziehung der gefüllten Schale abgezogen worden.

8) *Wismuth.* Der Magnetismus wurde durch 10 Tröge hervorgerufen. Da die Schale in ihrer Fassung und mit dem Thermometer nicht so stark magnetisch angezogen, als das hinein gebrachte Wismuth diamagnetisch abgestossen wurde, so befestigte ich, um die Anziehung zu verstärken, oben am Arme der Waage mit Wachs einen Eisenstab, wonach die Anziehung der leeren Schale

2,675 gr.

betrug, und diese Anziehung änderte sich nicht durch die Erwärmung derselben. Die Schale wurde mit Wismuth gefüllt, und dieses über einer Alkohollampe geschmolzen, wonach es, die Hülse des Thermometers umgebend, mit einer Oxydschicht bedeckt war. Dann wurde die Schale wiederum tarirt, das Wismuth von Neuem geschmolzen, und in rascher Aufeinanderfolge die Gewichte bestimmt, die bei der allmäligen Erkaltung zum Abziehen der Schale erforderlich waren. Während des Erstarrens des Wismuths stieg die Temperatur sehr langsam, und die Anziehung nahm rasch ab. Wenn Gewichte, in schicklicher Abstufung immer kleiner genommen, in die Waagschale gelegt wurden, zog sich nach kurzem Warten die Porcellanschale mit dem Wismuth von selbst ab. Nach dem Versuche ergab sich keine Gewichtsänderung des Wismuths.

Erste Versuchsreihe.

Temperatur	Anziehung der Schale	Diamagnetische Abstossung
251,25° C.	2,420 gr.	0,255 gr.
250° „	2,235 „	0,440 „
248,75° „	2,030 „	0,645 „
246,25° „	1,900 „	0,775 „
231,25° „	1,785 „	0,890 „
191,25° „	1,712 „	0,963 „

Zweite Versuchsreihe.

Temperatur	Anziehung der Schale	Diamagnetische Abstossung
311,56° C.	2,620 gr.	0,055 gr.
255° „	2,620 „	0,055 „
251,25° „	2,300 „	0,375 „
250° „	2,000 „	0,675 „
247,5° „	1,875 „	0,800 „
242,5° „	1,820 „	0,855 „
221,25° „	1,735 „	0,940 „
176,25° „	1,700 „	0,975 „
148,75° „	1,680 „	0,995 „

Diese zweite Versuchsreihe ist durch die Curve V graphisch dargestellt. Die diamagnetischen Intensitäten sind als negative Ordinaten construirt. Dieselbe Versuchsreihe stellt die Curve VI dar, indem für diese Ordinaten die Einheit 20 Mal grösser genommen worden ist.

Bei den vorstehenden Versuchen entfernte sich in den niederen Temperaturen die Schale von den Halbankern nur wenig, wodurch die genaue Bestimmung des Momentes des Abziehens mit Schwierigkeiten verbunden war.*) Ich stellte daher noch zwei andere Versuchsreihen an, wobei ich die Anziehung der leeren Porcellanschale dadurch auf ungefähr 16 gr. brachte, dass ich an der Scala des Thermometers einen Schieber anbrachte, der einen kleinen Eisenstab hielt. Nur ist hiermit der grössere Uebelstand verbunden, dass eine Aenderung in der Kraft des Elektromagneten in der Anziehung der Schale eine Aenderung hervorbringt, die nur bei Weitem zum kleinsten Theile auf die diamagnetische Abstossung des Wismuths kommt. Es ergaben sich indess auch hier, namentlich in der Nähe der raschen Zunahme des Diamagnetismus, ganz dem Früheren entsprechende Curven.

9) Es ist klar, dass für dieselbe Substanz die bezügliche Curve in demselben Verhältniss rascher ansteigt oder herabsinkt, als die Intensität des Magnetismus oder Diamagnetismus grösser ist, also je nachdem der Elektromagnet stärker erregt, eine grössere Masse der Substanz genommen und diese den beiden Halbankern näher gebracht wird. Um demnach die Curven I—V für die verschiedenen untersuchten Substanzen unter einander vergleichen zu können, mussten wir bei der Construction ihrer Ordinaten überall dieselbe Einheit der Anziehung zu Grunde legen. Für jede einzelne Substanz können wir für eine stärkere Anziehung die entsprechende Curve sogleich construiren, indem wir die Ordinaten der Anziehung proportional wachsen lassen. Doch bleiben hierbei allerdings noch diejenigen merkwürdigen Verhältnisse zu berücksichtigen, die ich im 4. Paragraphen meiner Abhandlung [Nr. 7] vom 1. Juni 1848 mitgetheilt habe, deren Gesetze aber nur unvollkommen festgestellt sind.

10) Werfen wir einen Blick auf die verschiedenen Curven I—V, so tritt uns die Curve für *Nickel* als muthmasslicher Typus für alle übrigen entgegen. Diese Curve hat, höheren Temperaturen entsprechend, die Abscissenaxe zur Asymptote, der sie sich in einer solchen Weise nähert, die entschieden gegen ein späteres Durchschneiden spricht, wonach in Gemässheit der Ansicht des Herrn Faraday bei steigender

---

*) Vergl. hierüber § 4 der oben angeführten Abhandlung, Pogg. Ann. Bd. 74, S 323. [Werke II, S. 102.]

Temperatur an einen Uebergang von Magnetismus in Diamagnetismus nicht zu denken ist. Ob bei höheren Temperaturen gar kein Magnetismus vorhanden sei oder ob derselbe bis auf ein verschwindendes Minimum allmälig immer langsamer abnehme, lasse ich als eine Frage, worüber zuletzt nur aus theoretischen Gesichtspunkten entschieden werden kann, dahingestellt sein. Bei 350° C. setzt Herr Pouillet das Verschwinden des Magnetismus des Nickels. Er ist hier mindestens 35 Mal schwächer als bei 50°. (Ich sage mindestens, weil das von mir angewandte Nickel nicht ganz eisenfrei war, wonach die Curve, wohl nur unmerklich sich ändernd, bloss zur Abscissenaxe herabrücken wird.) Am stärksten nimmt der Magnetismus ab von 225° bis 300°. Bei etwa 275° hat die Curve einen Wendepunkt, der sie in zwei Theile theilt, von denen der untere convex, der obere concav gegen die Abscissenaxe ist. Der obere Theil flacht sich bei den tieferen Temperaturen immer mehr ab: ich wage nicht zu entscheiden, ob er einen parabolischen Charakter habe oder wiederum an einer, der Abscissenaxe parallelen zweiten Asymptote sich hinziehe.

Ich bin der Ansicht, dass die Curven I und III für *Eisen* und *Eisenoxyd* einem blossen Theile der Typuscurve und zwar dem oberen entsprechen. Für Eisen wenigstens ist dieses schon dadurch constatirt, dass der Magnetismus desselben bei anfangender Weissglühhitze fast verschwindet und bei höherer Temperatur nicht wieder auftritt. Und auch für Eisenoxyd müssen wir Aehnliches annehmen, denn sonst würde die Curve III, indem sie keinen Wendepunkt hätte, etwa bei 600° die Abscissenaxe schneiden.

Die mitgetheilte Versuchsreihe für *Mangan-Oxyd-Oxydul*, wofür ich das zu meinen früheren Versuchen angewandte nahm, erstreckt sich nur bis zu einer Temperatur von 175° C. Die entsprechende Curve scheint hier ihre concave Seite der Abscissenaxe zuzukehren. Eine zweite Versuchsreihe, die bis in die Nähe des Siedepunktes des Quecksilbers sich ausdehnte, die ich aber nicht mitgetheilt habe, weil das angewandte Thermometer zerbrach, ohne dass ich dessen Scale verglichen hätte, gab eine continuirliche Curve, die in den höheren Temperaturen convex gegen die Abscissenaxe war. Welcher Temperatur der Wendepunkt entspricht, ist aber schwer genau anzugeben, weil die Curve von 50—250° einer geraden Linie sich sehr annähert.

Ich habe mehrere Versuchsreihen mit *Nickel-Oxydul* (NiO) angestellt, bin aber innerhalb *weiterer* Temperaturgrenzen zu einer regelmässigen continuirlichen Curve nicht gekommen, wobei sich indess mit Sicherheit herausgestellt hat, dass eine solche in den höheren Temperaturen convex gegen die Abscissenaxe ist.

11) Merkwürdig ist es, dass die diamagnetische Curve für *Wismuth* der magnetischen für Nickel analog ist. Der Wendepunkt fällt hier mit dem Erstarrungspunkte für Wismuth zusammen. Ich bin indess geneigt, dies mehr als zufällig zu betrachten, zunächst aus dem Grunde der eben erwähnten Analogie, dann aber auch, weil ich bisher bei keinem anderen Körper im Momente des Festwerdens auch nur die geringste Zunahme oder Abnahme des Diamagnetismus desselben gefunden habe. Ich kann zu den früheren Belegen (Stearin und Schwefel) noch einen entscheidenden hinzufügen. Ich nahm Phosphor und schmolz ihn unter Wasser in derjenigen Porcellanschale, in welcher er abgezogen wurde; ich liess eine Schicht Wasser darüber stehen und brachte, um die Gewichtsabnahme durch Verdunstung zu vermeiden, auf die Wasserschicht eine ganz dünne Oelschicht. Ueber den Magnetpolen erstarrend, zeigte sich in der diamagnetischen Abstossung während der Erstarrung *keine* Aenderung, und zwar trat diese Erstarrung unter verschiedenen Umständen ein; sie war einige Mal von keiner Temperaturerhöhung, das andere Mal von einer solchen im Betrage von 6° bis 10° C. begleitet.

Das von mir in meiner früheren Abhandlung bereits hervorgehobene gleichförmige Verhalten des Magnetismus und Diamagnetismus gegen die Wärme, welches auf eine gleiche Natur beider hinweist, findet sich durch die vollständigere Beobachtung der gegenwärtigen Abhandlung vollkommen bestätigt.

11.

Ueber die verschiedene Zunahme der magnetischen Anziehung und diamagnetischen Abstossung bei zunehmender Kraft des Elektromagneten.

(Annalen der Physik und Chemie, Bd. 75, S. 413—419. 1848. Note zu den Abhandlungen Bd. 72, S. 343, Bd. 73, S. 613, Bd. 74, S. 321, § 4.)

1) Eins der überraschendsten Resultate, zu denen ich in meinen magnetischen Experimental-Untersuchungen gekommen bin, ist unstreitig dasjenige, wonach bei zunehmender Kraft des Elektromagneten, insbesondere auch durch grössere Annäherung an die Pole desselben, die diamagnetische Erregung in viel rascherem Verhältnisse zunimmt als die magnetische. Dieses Resultat durch neue Versuche ausser allen Zweifel zu setzen, ist die Absicht dieser kurzen Note.

Auf diesen Gegenstand wurde meine Aufmerksamkeit zuerst gerichtet durch die Beobachtung, dass ein Stückchen Baumrinde, ein Stückchen Kohle und überhaupt jeder aus magnetischen und diamagnetischen Substanzen in solchem Verhältnisse gemischter Körper, dass weder Magnetismus noch Diamagnetismus stark vorherrscht, zwischen den beiden Polen schwingend aufgehängt, sich bei grösserer Polnähe *diamagnetisch*, bei geringerer *magnetisch* verhält. Später zeigte sich, dass dieselbe Umkehrung von Diamagnetismus in Magnetismus erfolgt, wenn wir, ohne dass die Entfernung der Pole sich ändert, den Elektromagnetismus ein Mal durch eine geringere, das andere Mal durch eine grössere Anzahl von Trögen erregen. Durch eine Modification dieses Versuches ergiebt sich eine *neue Bestätigung* unseres Gesetzes. Wenn man nämlich den Polen des Elektromagneten eine etwas grössere Entfernung giebt und das Kohlenstückchen so lang nimmt, dass es eben zwischen denselben frei schwingen kann, so ändert sich, während es schwingt, namhaft seine Entfernung von den Polen; es kann also, bei Anwendung einer gehörigen Stromstärke, weder in der axialen, noch in der äquatorialen Lage zur Ruhe kommen, sondern es muss eine *ganz bestimmte Mittellage* annehmen.

Wirklich stellte sich ein Stückchen Kohle, 27^{mm} lang und 6^{mm} dick, bei Anwendung von einem Troge entschieden magnetisch, bei Anwendung von sieben Trögen sehr entschieden diamagnetisch, während es bei Anwendung von drei Trögen um eine solche *feste* Gleichgewichtslage seine Schwingungen machte und in derselben zur Ruhe kam, die mit der axialen Lage einen Winkel von ungefähr 40^0 bildete.

2) Wer sich mit den Untersuchungen über das magnetische und diamagnetische Verhalten zusammengesetzter Körper, namentlich vegetabilischer und animalischer Substanzen, beschäftigt, findet häufig, dass der aufgehängte Körper entschieden eine schiefe, weder axiale noch äquatoriale Lage annimmt: der letzte Versuch führt dieses bisher nicht erklärte Factum auf die Grunderscheinungen, wie sie Herr Faraday entdeckt hat, zurück, indem er zugleich die Mischung magnetischer und diamagnetischer Substanzen in dem schwingenden Körper nachweist und anzeigt, dass wir durch Schwächung oder Verstärkung des Stromes den Körper entschiedener in die magnetische oder diamagnetische Lage bringen können.

3) Die in dem Vorstehenden beschriebenen Erscheinungen treten so stark hervor, dass ich nicht daran zweifeln konnte, dass das fragliche Gesetz sich auch unmittelbar durch die Waage werde nachweisen lassen. Hiernach habe ich in § 4 meiner Abhandlung [Nr. 7] über magnetische und diamagnetische Intensitätsbestimmung im 74. Bande Versuche mitgetheilt, die aber nur dann Beweiskraft haben, wenn wir bei Anstellung derselben gewisse Grenzen nicht überschreiten. Wenn wir nämlich an einem Arme einer Waage, dicht über den genäherten Polen, ein mit Quecksilber gefülltes Uhrglas aufhängen und äquilibriren, es dann, nach Erregung des Stromes, angezogen wird und nach Auflegung eines Uebergewichtes von den Ankern losreisst, aber in der geringen Entfernung von 1^{mm} in stabiler Gleichgewichtslage festgehalten wird und erst beim Oeffnen der Kette, in Folge des Uebergewichts, von den Polen fortgeht: so ist diese Erscheinung unwiderruflich eine Folge davon, dass die Abstossung der diamagnetischen Bestandtheile des mit Quecksilber gefüllten Uhrglases mit der Entfernung rascher abnimmt, als die Anziehung der magnetischen Bestandtheile desselben. Dies war der Versuch, den ich zuerst zur weiteren Prüfung des Gesetzes anstellte.

4) Die beschriebene Erscheinung findet fortwährend statt, wie sehr wir auch durch Wahl anderer Substanzen die magnetische Anziehung verstärken mögen, nur dass dann die Gleichgewichtslage in einer grösseren Entfernung von den Polen eintritt, wobei der lange und keineswegs leichte Balken meiner Waage in Folge des grösseren Ueber-

gewichtes eine schiefere Lage annimmt. Hier muss ich mich indess einer Uebereilung anklagen, indem ich keine Unterscheidung zwischen den Versuchen mit stark magnetischen und schwach magnetischen Mischungen machte, einer Uebereilung, die ich um so weniger beschönigen kann, als ich der paradoxen Resultate, die die gleiche Deutung *aller* gab, mir recht wohl bewusst war.*) Indem wir nämlich ein Uebergewicht auflegen, das die Waage aus der horizontalen Lage herausbringt, kommt dadurch, in demselben Sinne wirkend wie die diamagnetische Abstossung, das Bestreben der Waage hinzu, in die schiefe Gleichgewichtslage zu kommen. Während dies Bestreben in dem ersten Versuche gegen die magnetischen und diamagnetischen Kräfte vernachlässigt werden kann, bedingt es, bei Anwendung von stärker magnetischen Substanzen, die sogar nichts Diamagnetisches zu enthalten brauchen, und bei der entsprechenden grösseren Entfernung von den Polen *ausschliesslich* die beobachtete Erscheinung. Es braucht nur, indem die Waage aus der schiefen Gleichgewichtslage durch die magnetische Anziehung den Polen genähert wird, diese Anziehung durch die grössere Annäherung weniger zu wachsen, als das Bestreben der Waage, in die schiefe Gleichgewichtslage zurückzukehren. Immerhin aber möchte noch bei ein und derselben Reihe von Versuchen die falsche Deutung einiger derselben auf die Deutung der anderen einen Schein von Unsicherheit werfen und diese sogar auch dann noch verdächtigen, wenn wir zur Anstellung derselben uns einer *kleinen* und empfindlichen Waage bedienten. Darum habe ich in den folgenden Nummern, die bestimmt sind, die 52. und 55. Nummer der zuletzt angeführten Abhandlung zu ersetzen, die früheren Versuche so abgeändert, dass das fragliche Gesetz über die verschiedene Ab- und Zunahme von Magnetismus und Diamagnetismus unzweifelhaft und in der augenfälligsten Weise daraus folgt.

5) Ich hing wiederum ein Uhrglas, in welches ich ein abgerundetes Stück Wismuth legte, in gewohnter Weise über die genäherten Pole an den einen Arm meiner grossen Waage, und brachte diese dann durch Tariren in die horizontale Gleichgewichtslage. Es war zugleich eine Vorrichtung angebracht, um durch Heben und Senken der Waage, ohne das obige Gleichgewicht zu stören, das Uhrglas in eine beliebige Entfernung über den Polen zu bringen. Nachdem diese bestimmt worden war, wurde der Elektromagnetismus nach einander durch eine verschiedene Anzahl von Grove'schen Trögen hervorgerufen. Dann musste sich Magnetismus und Diamagnetismus bezüglich durch

*) [Vergl. hierzu die Anmerkung 6 zur 7. Abhandlung.]

die Anziehung und Abstossung des Uhrglases offenbaren. Die Grösse dieser Anziehung und Abstossung, durch die Hebung und Senkung des Uhrglases gemessen, ist in der nachfolgenden Versuchsreihe zur Schätzung der überwiegenden magnetischen Kraft angegeben.*)

I. Bei Berührung der Anker durch das Uhrglas.

Anzahl der Tröge 8	Abstossung	$5{,}0^{mm}$
„ „ „ 2	„	$0{,}5^{mm}$ (kaum).
„ „ „ 1	Keine merkliche Wirkung.	

II. Bei einer Hebung des Uhrglases von $1{,}5^{mm}$.

Anzahl der Tröge 8	Abstossung	$3{,}5^{mm}$
„ „ „ 4	„	$2{,}25^{mm}$
„ „ „ 3	„	$1{,}5^{mm}$
„ „ „ 2	„	$0{,}5^{mm}$
„ „ „ 1	Anziehung	$1{,}0^{mm}$.

III. Bei einer Hebung des Uhrglases von $3{,}5^{mm}$.

Anzahl der Tröge 8	Abstossung	$1{,}0^{mm}$
„ „ „ 4	Anziehung	$1{,}0^{mm}$
„ „ „ 1	„	$3{,}0^{mm}$.

IV. Bei einer Hebung des Uhrglases von $5{,}5^{mm}$.

Anzahl der Tröge 8	Anziehung	$3{,}0^{mm}$
„ „ „ 1	„	$3{,}25^{mm}$.

V. Bei einer Hebung des Uhrglases von $8{,}5^{mm}$.

Anzahl der Tröge 8	Anziehung	$5{,}0^{mm}$
„ „ „ 1	„	ebenso.

Wir ersehen, um nur ein paar Momente aus der vorstehenden Beobachtungsreihe hervorzuheben, wie bei derselben Aufhängung des Uhr-

*) Es handelt sich hierbei nicht um quantitative Maassbestimmungen, sondern nur um qualitative Versuche. Wäre ersteres der Fall, so könnten wir die Gewichte im Voraus bestimmen, die bei der gegebenen Belastung einem gegebenen Ausschlag der Waage oder, was dasselbe ist, einer gegebenen Senkung oder Hebung des Uhrglases entsprechen, und müssen dann, indem wir diese Gewichte als das Maass der magnetischen Anziehung oder diamagnetischen Abstossung betrachten, als entsprechende Entfernung diejenige nehmen, bei welcher das Uhrglas ins Gleichgewicht kommt. Bei der fraglichen Schätzung ist hierauf Rücksicht zu nehmen; in der obigen Versuchsreihe sind die Kräfte keineswegs den Ausschlägen proportional.

Ein zweites Mittel, die Anziehung und Abstossung bei verschiedener Kraft und bei verschiedenen Entfernungen zu messen, wäre die Bestimmung der Gewichte, bei welchen das Uhrglas — oder statt desselben jeder andere Körper — in der von mir angewandten Weise abgezogen wird.

glases mit dem darin liegenden Wismuthstücke die ganze Masse bei einer Erhebung von 3,5^{mm} über den Polen, je nachdem wir den Strom durch *acht* oder durch *vier* Tröge erregen, mit ungefähr gleicher Kraft ein Mal *diamagnetisch abgestossen* und das andere Mal *magnetisch angezogen* wird; dass ferner die magnetische Kraft bedeutend *zunimmt*, wenn wir den Elektromagneten dadurch *schwächen*, dass wir statt der *vier* Tröge nur *einen einzigen* Trog anwenden. Ebenso deutlich tritt hervor, wie die einer Schwächung der Kraft des Elektromagneten entsprechende grössere Entfernung von den Polen desselben die gleiche Wirkung hervorbringt. Ist bei einer gegebenen Stromstärke magnetische Anziehung vorhanden, so erhalten wir die grösste Wirkung *nicht* in der grössten Nähe der Pole; im Gegentheile, diese grösste Wirkung findet in einer namhaften Entfernung von den Polen statt; sie nimmt mit der Annäherung an dieselben, wenn der Elektromagnet stark genug ist, bis zum Verschwinden ab, und dann zeigt sich bei fortwährender Annäherung diamagnetische Abstossung, die bis zur Berührung der Pole stetig zunimmt. Bei Anwendung von *acht* Trögen liegt der Indifferenzpunkt in einer Entfernung von den Polen, die ungefähr 4^{mm} beträgt, bei bloss *vier* Trögen den Polen um 1^{mm} bis 2^{mm} näher. Das Maximum der magnetischen Wirkung scheint beide Mal, wenigstens bei acht Trögen, in einer Entfernung von 8^{mm} noch nicht erreicht.

6) Bei Anstellung der Versuche der vorigen Nummer begegnen wir in constanter Weise der Beobachtung, dass, selbst in dem Falle entschiedener diamagnetischer Wirkung, im Momente des Schliessens nicht Abstossung, sondern vielmehr sehr merkliche Anziehung stattfindet, und diese erst nach einiger Zeit in Abstossung sich verwandelt. Die Erklärung dieser Erscheinung ist darin zu suchen, dass, nachdem die Kette geschlossen ist, die Kraft des Magneten nicht augenblicklich, sondern erst nach einer gewissen Zeit ihre ganze Stärke erhält.*)

Die fragliche Beobachtung ist also eine *neue Bestätigung* unseres Gesetzes.

7) Dieses Gesetz, dass nämlich die magnetische Anziehung mit

*) Diese bekannte Thatsache wird, was schon Herr Faraday bemerkt hat, sehr schön sichtbar gemacht in der Drehung der Polarisationsebene durch den Elektromagneten, die nach Schliessung der Kette noch einige Zeit hindurch zunimmt. Wir können sie auch für den Tastsinn bemerklich machen, wenn wir auf die beiden Polflächen Halbanker aufsetzen und dieselben so annähern, dass sie durch Erregung des Elektromagnetismus zusammenschlagen würden, aber, um dieses zu verhindern, eine Korkscheibe dazwischen bringen. Berühren wir dann während des Schliessens die beiden Halbanker mit einer Fingerspitze, so fühlen wir deutlich, wie der Kork allmälig immer mehr zusammengedrückt wird.

der Entfernung langsamer abnimmt, als die diamagnetische Abstossung, erklärt vollständig alle in dieser Note erwähnten Erscheinungen, als deren allgemeinen Ausdruck wir dasselbe ansehen können. Wollte man gegen diese Auffassung einen Einwurf daraus entnehmen, dass ich überall nur magnetische und diamagnetische Substanzen *zusammen* anwende, so müsste man die beobachteten Erscheinungen einer gegenseitigen Einwirkung der beiderartigen Substanzen zuschreiben. Aber das diamagnetische Wismuth berührt in den Versuchen der 5. Nummer in wenigen Punkten bloss das magnetische (freilich auch diamagnetische Substanzen enthaltende) Uhrglas, und wie wäre da an eine Einwirkung zu denken. Directe Abwägungen, in so weit sie bloss das Gesetz bestätigen sollen, sind leicht anzustellen. Handelt es sich aber um vollständige Versuche, so ist vorher vor Allem die Frage zu beantworten, ob rein *chemische Verbindungen*, im Gegensatze zu Lösungen magnetischer Salze im Wasser, zu Legirungen magnetischer und diamagnetischer Metalle, zu vegetabilischen und animalischen Substanzen, die Eisen aufgenommen haben, sich auch entweder *rein magnetisch* oder *rein diamagnetisch* verhalten. Es scheint mir dieses sehr wahrscheinlich, und dann hätten wir in vielen Fällen ein neues Kriterium für eine chemische Verbindung. Ich werde hierauf später zurückkommen.

12.

Ueber die neue Wirkung des Magneten auf einige Krystalle, die eine vorherrschende Spaltungsfläche besitzen. Einfluss des Magnetismus auf Krystallbildung.

(Annalen der Physik und Chemie, Bd. 76, S. 576—586. 1849.)

1) Die Entdeckungen in dem Gebiete des Magnetismus häufen sich in einer Weise, dass diese an und für sich schon so dunkle Naturkraft einstweilen nur noch in einen dichteren Schleier gehüllt wird. So ist es eine Kraftäusserung, für die bisher kein Analogon da war, dass, um bei einem concreten Beispiele stehen zu bleiben, eine Turmalinsäule, die zwischen den beiden Polen eines Magneten horizontal schwingend aufgehängt wird, von diesen Polen flieht, wie wenn sie von denselben abgestossen würde, und in Folge davon sich äquatorial stellt, und dass sie dennoch in dieser äquatorialen Stellung ihrer Masse nach von denselben Polen angezogen wird. Eine magnetische Wirkung von gleicher Art entdeckte neuerdings Herr Faraday*): die Anziehung derjenigen Richtung (der *magnekrystallischen* Axe), die auf der Hauptspaltungsfläche gewisser Krystalle senkrecht steht, und die sich entschieden bei den folgenden fünf Substanzen zeigt: Wismuth, Antimon, Arsen, schwefelsaures Eisenoxydul, schwefelsaures Nickeloxyd. Von diesen Resultaten erhielt ich Kenntniss durch eine briefliche Mittheilung des Entdeckers vom 14. December v. J., der sie anfänglich in geradem Widerspruche mit der von mir zuerst beobachteten Abstossung der optischen Axen hielt, später aber seine Ansicht dahin aussprach, dass beide Wirkungen einen gemeinsamen Grund hätten. Natürlich säumte ich nicht, die Faraday'schen Versuche zu wiederholen. Anzunehmen, dass zugleich zwei verschiedene Ursachen die neuentdeckten paradoxen Erscheinungen hervorbrächten, dagegen sträubt sich mein physikalisches Gefühl. Wären beide Wirkungen in

*) Poggendorff's Annalen, Bd. 76, S. 144—149.

Einklang zu bringen, so träte uns die Frage entgegen, welche von beiden Wirkungen, die Anziehung der magnekrystallischen Axe oder die Abstossung der optischen Axen, der anderen unterzuordnen sei, oder endlich die Frage, ob das von mir ausgesprochene Gesetz, „dass die beiden optischen Axen beide gleich stark von den Magnetpolen abgestossen werden," vielleicht zu enge sei, und für manche Krystalle sogar eine Anziehung statt der Abstossung eintrete.

2) Die Absicht der gegenwärtigen Note ist, diejenigen Hauptresultate, die ich gleich bei der ersten Wiederholung der Faraday'schen Versuche erhalten habe, und die ihrerseits wiederum mit diesen scheinbar im Widerspruche stehen, vorläufig mitzutheilen. Erst nachdem ich von den beiden Originalabhandlungen des Herrn Faraday Kenntniss genommen haben werde, möchten weitere Ausführungen an der Stelle sein, und bis dahin behalte ich auch eine vor längerer Zeit schon niedergeschriebene Abhandlung, weitere Resultate über die Abstossung der optischen Axen und ihre Bestimmung durch Hülfe des Magneten enthaltend, zurück.

3) Die Beobachtungen des Herrn Faraday über die Wirkung der Magnetpole auf krystallisirtes Wismuth, Arsen und schwefelsaures Eisenoxydul habe ich nicht nur bestätigt gefunden, sondern war auch von der Stärke der neuen Wirkung, der Anziehung der magnekrystallischen Axe, überrascht. Zu meinem Erstaunen aber *verhielt sich Antimon gerade umgekehrt.* Während nämlich einerseits eine Säule von Wismuth, deren Hauptspaltungsfläche mit ihrer Basis zusammenfällt, auch bei entschieden vorherrschender Längendimension, den Diamagnetismus überwindend, sich zwischen den Magnetpolen axial einstellt; während andererseits ein Plättchen Arsen, das seines magnetischen Verhaltens wegen zwischen den Magnetpolen sich axial einstellen sollte, sich umgekehrt entschieden äquatorial richtete, in der Art, dass die auf dem Plättchen und seiner Hauptspaltungsrichtung senkrechte magnekrystallische Axe, den Magnetismus der Masse überwindend, wie beim Wismuth von den Magnetpolen angezogen wurde; — so stellte sich, hiervon ganz abweichend, ein Plättchen Antimon, das wie das Arsenplättchen durch Hauptspaltungsflächen begrenzt war, obgleich sich die Masse desselben stark diamagnetisch verhielt, diesen Diamagnetismus überwindend, entschieden *axial,* als ob die magnekrystallische Axe von den Polen *abgestossen* würde, und diese Wirkung war nicht weniger stark, als die umgekehrte bei Wismuth und Arsen.

Das Antimon, das ich zuerst dem Versuche unterwarf, war käufliches, wie es im Handel vorkommt, und das, in grösserer Masse erkaltet, eine ganz entschieden vorherrschende Spaltungsrichtung (nicht

dieselbe in der ganzen Masse) zeigte. Obgleich ich nicht einsah, wie eine Verunreinigung durch andere Metalle irgendwie die beobachteten Erscheinungen modificiren sollte, so untersuchte ich dennoch auch reines Antimon aus dem hiesigen chemischen Laboratorium, fand aber ganz übereinstimmend überall dieselbe Wirkung.

4) Ich erwähne noch einen zweiten Versuch, den ich mit Wismuth anstellte. Herrn Prof. Bergemann verdanke ich ein schön krystallisirtes Stück dieses Metalls, das, obgleich aus einer Anhäufung von mehreren Krystallen bestehend, seiner ganzen Ausdehnung nach einen einzigen vollkommenen Durchgang zeigt. Ich nahm aus demselben eine Platte, begrenzt durch zwei diesem Durchgange entsprechende Spaltungsflächen, und hing dieselbe, horizontal schwingend, zwischen den Polspitzen so auf, dass nach Herrn Faraday, weil nur eine Drehung um die „magnekrystallische" Axe der Platte möglich war, die neu entdeckte Wirkung nicht eintreten, und die Platte sich nur in Folge des Diamagnetismus ihrer Masse richten sollte. Die Platte zeigte auf der vollkommenen Spaltungsfläche drei sich unter Winkeln von 120° durchsetzende Systeme paralleler Streifen, welche die drei übrigen Spaltungsflächen anzeigten: ein System dieser Streifen war aber ganz entschieden vorherrschend. Welche Form man dieser Platte auch geben mochte, sie stellte sich immer so, dass die letztbezeichneten Streifen genau die äquatoriale Lage annahmen, auch dann, wenn der Diamagnetismus der Masse erst überwunden werden musste; und zwar geschah dies entweder sogleich, oder bei zunehmender Entfernung der Polspitzen von einander. Die Erscheinung zeigte sich so, als wenn neben der einen magnekrystallischen Hauptaxe *noch eine zweite vorhanden gewesen wäre, die auf einer zweiten weniger vollkommenen Spaltungsfläche senkrecht stände.*[1])

5) Wenn ein Krystall zum tesseralen System gehört, so kann eine einzige ausgezeichnete Spaltungsrichtung nach krystallographischen Grundsätzen nicht vorhanden sein; es giebt alsdann, um bei den einfachsten Fällen stehen zu bleiben, drei gleiche nach den Würfelflächen, wie beim Steinsalz, oder vier gleiche nach den Flächen des entsprechenden Octaëders, wie beim Flussspath. Wenn aber an Stelle des Würfels ein Rhomboëder als Grundform auftritt, so können wie beim Kalkspath drei gleiche, den Flächen der Grundform parallele Spaltungsflächen vorhanden sein, wenn aber vier Spaltungsflächen vorhanden sind, so ist unter diesen nothwendig *eine* ausgezeichnete, und diese steht dann auf der optischen Axe, der Verbindungslinie der beiden ausgezeichneten Ecken der Grundform, senkrecht. Dann fällt also die magnekrystallische Axe mit der optischen zusammen, und dies

scheint der Fall zu sein bei Wismuth, Arsen und Antimon. Das Verhalten des letztgenannten Metalls wäre hiernach eine blosse Bestätigung der Abstossung der optischen Axe durch die Pole des Magneten, während wir bei den beiden erstgenannten Metallen, wenn wir die Erscheinung auf die optische Axe zurückführen wollen, statt der Abstossung eine *Anziehung* dieser Axe annehmen müssen.

6) Die Erscheinung beim schwefelsauren Eisenoxydul bin ich bisher nicht im Stande gewesen, entweder auf eine Abstossung oder auf eine Anziehung der zwei optischen Axen, die in diesem Falle vorhanden sind, zurückzuführen. Krystalle von schwefelsaurem Nickeloxyd habe ich bisher nicht zu meiner Disposition gehabt.

7) Der Versuch der 4. Nummer war in der früher allgemein gemachten Voraussetzung angestellt worden, dass die Grundform des Wismuths ein Würfel sei, und wiederholt, nachdem diese Voraussetzung dahin berichtigt worden, dass als Grundform ein von dem Würfel wenig abweichendes Rhomboëder genommen werden müsse. In beiden Voraussetzungen würde dieser Versuch, wenn nicht Zwillingsbildungen auf die Erscheinungen störend eingewirkt haben, was ich indess nicht glaube, für ein specifisches Verhalten der Spaltungsflächen als solcher und dagegen sprechen, dass dieses Verhalten sich auf die optische Axe zurückführen liesse. Das Wismuth, das ich dem Versuche unterwarf, war sämmtlich durch Erkaltung krystallisirt und also nach einer Notiz in dem eben erschienenen Januarhefte der Annalen in *Rhomboëdern*, während gediegenes Wismuth, sowie gediegenes Antimon zum tesseralen Systeme gehören.*) Ob hiernach *gediegenes Wismuth* die von Herrn Faraday und *gediegenes Antimon* die von mir beschriebene Wirkung ebenfalls zeigen, liesse sich durch einen directen Versuch auch bei schwacher Magnetkraft leicht untersuchen.

8) Ich komme nochmals auf die im Eingange erwähnte paradoxe Erscheinung zurück, dass ein zwischen den beiden Magnetpolen aufgehängter Krystall nach Umständen von diesen Polen angezogen wird und doch vor ihnen fliehet, oder umgekehrt von denselben abgestossen wird und doch sich ihnen nähert. Auch Herr Faraday legt Gewicht auf diese Erscheinung. Er findet die diamagnetische Abstossung eines Wismuthkrystalles unverändert dieselbe, gleichviel, ob die magnekrystallische Axe desselben in Beziehung auf die Polspitzen eine axiale oder äquatoriale Lage hat. Ich hoffe mit Berücksichtigung der Schlusserörterungen dieser Note, durch den Gebrauch der Waage diese Frage

*) [Diese Angabe ist irrthümlich; reguläres Wismuth und Antimon sind nicht bekannt.]

zur Entscheidung zu bringen. Ein paar Beobachtungen im Sinne der Faraday'schen Behauptungen mögen aber hier schon ihre Stelle finden.

9) Ich schnitt aus reinem, schön krystallisirtem Wismuth eine parallelepipedische Säule. Ihre Höhe betrug 10^{mm} und ihre mit den Hauptspaltungsflächen zusammenfallenden Grundflächen waren $6{,}5^{mm}$ lang und 4^{mm} breit. Sie stellte sich, den Diamagnetismus überwindend, entschieden axial und behielt diese Stellung, die eine magnetische genannt werden kann, auch noch nach Entfernung einer der beiden Polspitzen. Wenn die Säule nach Unterbrechung des Stromes der zurückgebliebenen Polspitze so genähert wurde, dass sie sich an dieselbe mit einer Basis anlehnte, so nahm sie nach der Wiederherstellung der Verbindung die magnetische Stellung an und wurde zugleich in dieser Stellung mehrere Millimeter weit abgestossen. Wir müssen uns indess hüten, aus dieser Beobachtung allgemeine Schlüsse zu ziehen, weil der Diamagnetismus rascher mit der Entfernung von den Polen abnimmt, als die magnetische Einwirkung auf die optischen Axen, sowie auf die magnekrystallische Axe. Die Behauptung in Beziehung auf die letztgenannte Axe bestätigt sich darin, dass die bezügliche Kraft, wenn sie nicht zu stark ist und in Folge der Form des Krystalls diesen in anderem Sinne zu drehen strebt, als der Diamagnetismus der Masse, erst bei grösserer Entfernung der Polspitzen sichtbar wird.

Ich brachte daher dieselbe Wismuthsäule in der axialen Richtung allmälig immer weiter von der Polspitze; sie behielt ihre magnetische Stellung ganz entschieden noch in einer Entfernung von mehr als 20^{mm}. So lange bei irgend einem Abstande der Säule von der Polspitze noch eine Abstossung stattfand, müsste beim Oeffnen der Kette die Säule der Polspitze sich nähern; wenn umgekehrt eine Anziehung einträte, müsste sie von der Polspitze sich entfernen. Bei einem Abstande der Polspitze und der ihr zugewandten Basis der Säule von 6^{mm} trat beim Oeffnen der Kette die fragliche Annäherung noch merklich ein, nahm dann aber bis zum Verschwinden allmälig ab, ohne dass ein Uebergang von Annäherung in Entfernung wahrgenommen werden konnte.

10) Ich nahm ferner zwei dünne Plättchen Wismuth von etwa 8^{mm} Durchmesser und durch Hauptspaltungsflächen begrenzt; ebenso zwei gleiche Plättchen Antimon. An den beiden Enden eines Strohhalmes von 50^{mm} Länge befestigte ich durch sehr wenig Wachs nach einander:

1. Die beiden Plättchen Wismuth so, dass diese auf der Längenrichtung des Strohhalms senkrecht standen.
2. Die beiden Plättchen Antimon in gleicher Weise.

3. Die beiden Plättchen Wismuth so, dass die Richtung des Strohhalms in die Richtung der Spaltungsflächen fiel.

4. Die beiden Plättchen Antimon wie unter (3) die Plättchen Wismuth.

Es wurden hierauf die beiden parallelepipedischen Halbanker in der Art aufgelegt, dass ihre Polflächen (67^{mm} breit und 27^{mm} hoch) so weit von einander abstanden, dass der Strohhalm mit seinen beiden Metallplättchen, in seiner Mitte an einem Coconfaden aufgehängt, noch eben frei zwischen denselben schwingen konnte. Die Ebene, in welcher diese Schwingungen stattfanden, lag etwas tiefer als die oberen Kanten der Polflächen, und der Coconfaden fiel in diejenige Verticalebene, welche diese Kanten halbirt (in die Meridianebene des Magneten). In den Fällen 1. und 4. stellte sich der Strohhalm mit den Metallstücken in die Meridianebene (axial) *und fand hier eine stabile Gleichgewichtslage*, während eine zweite hier nicht wieder in Betracht kommende und weniger stabile Gleichgewichtslage in der Aequatorialebene stattfand. In den Fällen 2. und 3., also bei einer Vertauschung von Antimon und Wismuth, ergab sich nur *eine* stabile Gleichgewichtslage und zwar in der Aequatorialebene.

11) Sobald ich die erste Beobachtung über die Abstossung der optischen Axen gemacht hatte, lag der Gedanke nahe, zu untersuchen, *ob nicht der Magnetismus auf die Krystallbildung Einfluss hätte.* Ich erwartete damals, dass bei der Ausscheidung der Krystalle aus gesättigten Auflösungen zwischen den Magnetpolen diese Krystalle sich so bilden würden, dass diejenige Lage, welche sie frei schwebend zwischen den Magnetpolen annehmen, und die durch die Abstossung der optischen Axen sich bestimmt, die vorherrschende wäre; eine Erwartung, die gerechtfertigt erscheint, wenn wir die Abstossung dieser Axen als eine Molecularwirkung ansehen, bei welcher jedes kleinste Theilchen schon dieselbe Wirkung erfährt. Die Versuche, die ich damals anstellte, gaben kein Resultat: ich überging sie umsomehr mit Stillschweigen, als ich mir nicht verhehlen konnte, dass die Bedingungen des muthmaasslichen Gelingens derselben nur in geringem Maasse erfüllt waren. Von der Stärke der von Herrn Faraday entdeckten neuen Wirkung beim Wismuth überrascht, nahm ich mit Rücksicht auf die leichte Krystallisirbarkeit dieses Metalls den früheren Gedanken wieder auf, indem ich nun geschmolzenes reines Wismuth langsam zwischen den Magnetpolen erstarren liess. Nach der Erstarrung zeigte sich, dass die Ebenen der vollkommenen Spaltbarkeit entschieden vorherrschend nach der äquatorialen Richtung lagen. Nach vielfachen Wiederholungen und Modificationen dieses Versuchs stand es ohne Widerrede fest, dass

das erlangte Resultat wirklich dem Einflusse des Magnetismus auf die Krystallisation zuzuschreiben sei. Da es mir indess nicht gelang, dem erstarrenden Wismuth durch den Magneten eine *einzige* Hauptspaltungsfläche in der Aequatorialebene zu geben, so stellte ich, um das erlangte Resultat ausser allen Zweifel zu setzen, die Versuche noch in anderer Weise an.

12) Wenn nämlich eine zwischen den Magnetpolen erkaltende Wismuthmasse wirklich eine solche Struktur erhält, in welcher die Hauptspaltungsebene vorherrschend auf der axialen Richtung senkrecht steht, so muss sie auch, wenn sie nach der Erkaltung um die eine verticale Achse frei beweglich aufgehängt wird, in Folge der magnekrystallischen Wirkung gerade diejenige Lage einnehmen und festhalten, welche sie beim Erstarren hatte, und umgekehrt, wenn diese Erscheinung eintritt, so ist es ein Beweis für die Richtigkeit der Voraussetzung.

Ich wählte zuerst eine halbkugelförmige Porcellanschale von 20^{mm} Durchmesser und stellte diese in ein mit Sand angefülltes Gefäss von etwas mehr als doppeltem Durchmesser zwischen die beiden grossen Halbanker, die ihre runden Seiten einander zukehrten.*) Das Gefäss wurde durch eine Spiritusflamme erhitzt, und dann, nachdem die Kette geschlossen, das geschmolzene, noch namhaft über den Schmelzpunkt erhitzte Wismuth in die Porcellanschale gegossen und mit einer Holzkohle überdeckt. Die Erstarrung trat nach 10—12 Minuten ein. Die Wismuthmasse wurde, nachdem auf ihr die äquatoriale Richtung auf ihrer oberen Fläche durch eine gerade Linie bezeichnet worden war, aus der Porcellanschale herausgenommen und an einem starken Seidenfaden zwischen den Polspitzen so aufgehängt, dass jene Linie bei der Drehung um diesen Faden immer in der Horizontalebene blieb. In Folge der symmetrischen Form der Wismuthmasse in Beziehung auf die Umdrehungsaxe konnte die diamagnetische Wirkung keine Drehung hervorbringen, und die Gleichgewichtslage hätte sich lediglich durch die Torsion des Seidenfadens bestimmen müssen. Nichtsdestoweniger stellte sich die Wismuthmasse mit grosser Entschiedenheit so, dass diejenige gerade Linie, welche unmittelbar nach der Erstarrung zur Bezeichnung der äquatorialen Richtung gedient hatte, dieselbe Richtung wiederum erhielt.

13) Um den letzten Versuch zu variiren, höhlte ich eine Holzkohle so aus, dass die Höhlung ungefähr 6^{mm} breit und etwas mehr als doppelt so lang war. In diese Höhlung wurde wie früher das ge

*) Poggendorff's Annalen, Bd. 73, S. 550. [Werke II, S. 36.]

schmolzene Wismuth gegossen, das etwa nach einer Minute erstarrte und sich dann aus der Kohle, ohne dass diese versehrt wurde, herausnehmen liess. Befand sich das Kohlenstück ausser dem Bereiche des Magneten, so zeigte sich das gegossene Wismuthstück ohne magnekrystallische Wirkung rein diamagnetisch, indem es, zwischen den Polspitzen aufgehängt, sich mit seiner Längenrichtung äquatorial einstellte. Befand sich aber dasselbe Kohlenstück, während das geschmolzene Wismuth eingegossen wurde und erstarrte, zwischen den einander möglichst genäherten grossen Halbankern und zwar einmal so, dass die Längenrichtung der Höhlung die äquatoriale Lage, das andere Mal so, dass sie die axiale Lage hatte, so stellte sich das Wismuthstück, horizontal schwebend und in seiner Mitte an einem Coconfaden zwischen den Polspitzen aufgehängt, einmal stark diamagnetisch, das andere Mal wie ein magnetischer Körper, den Diamagnetismus der Masse überwindend. Zuweilen trat die magnetische Stellung erst bei einem grösseren Abstande der Polspitzen von einander ein.

Endlich wurden noch dem Kohlenstücke *schiefe* Stellungen zwischen den grossen Halbankern gegeben und zur Bestimmung derselben auf dem in der Höhlung desselben gegossenen Wismuthstücke gleich nach der Erstarrung desselben die äquatoriale Lage durch Auftragung einer geraden Linie bezeichnet. Wurde dieses Wismuthstück dann herausgenommen und wie früher zwischen den Polspitzen aufgehängt, so stellte es sich weder wie ein magnetischer, noch wie ein diamagnetischer Körper, *sondern nahm entschieden diejenige Lage an, bei welcher die aufgetragene gerade Linie wiederum genau äquatorial gerichtet war.*

Ich ziehe hieraus den allgemeinen Schluss, dass eine Wismuthmasse von beliebiger Form, welche zwischen Magnetpolen erstarrt ist, dieselbe Lage, die sie beim Erstarren hatte, auch dann behauptet, wenn sie, an einem Faden äquilibrirt aufgehängt, sich um eine verticale Axe frei drehen kann; vorausgesetzt nur, dass das von der Form abhängige diamagnetische Drehungsmoment, wenn es entgegengesetzt wirkt, nicht zu gross ist. Und hieraus folgt weiter, dass der Magnetismus auf die Krystallisation des erstarrenden Wismuths in der Art einwirkt, dass es bestimmt wird, den Ebenen der vollkommenen Spaltbarkeit die äquatoriale Stellung zu geben.

13.

Ueber die magnetischen Beziehungen der positiven und negativen optischen Axen der Krystalle.

(Annalen der Physik und Chemie, Bd. 77, S. 447—448. 1849. Aus einem Briefe an Herrn Faraday, im Philosoph. Magazine, Vol. XXXIV, S. 450.)

1) Das erste und allgemeine Gesetz, welches sich aus meinen letzten Versuchen ergab, ist folgendes: Die optischen Axen werden durch die Pole eines Magnets entweder *abgestossen* oder *angezogen*, je nach dem krystallinischen Gefüge der Krystalle. Ist der Krystall ein *negativer*, so findet *Abstossung* statt; ist er dagegen ein *positiver*, so erfolgt *Anziehung*.

Die geeignetsten Krystalle zum Erweise dieses Gesetzes sind: *Diopsid* (ein positiver Krystall), *Cyanit* und *Topas* (beide negativ) und andere, ähnlich krystallisirte. In diesen Krystallen ist die Linie (A), welche den spitzen Winkel zwischen den optischen Axen halbirt, weder winkelrecht noch parallel zur Axe (B) des Prismas.*) Ein solcher Krystall, horizontal aufgehängt, wie ein Prisma von Turmalin, Staurolith oder Kaliumeisencyanid bei meinen früheren Versuchen, stellt sich weder axial noch äquatorial, sondern nimmt eine intermediäre Richtung an. Diese Richtung ändert sich, so wie das Prisma um seine eigene Axe B gedreht wird. Durch eine einfache geometrische Construction lässt sich erweisen, dass bei einer Drehung des Prismas um seine Axe (B) diese Axe, ohne zwei feste Grenzen C und D zu überschreiten, durch alle intermediären Lagen geht. Die Richtungen C und D, wo der Krystall umkehrt, machen zu beiden Seiten mit der Linie, die entweder die beiden Pole verbindet oder darauf winkelrecht ist, Winkel, die dem von A und B eingeschlossenen gleich sind. Das Erste ist der Fall, wenn der Krystall ein *positiver* ist, das Letztere, wenn er zu den *negativen* gehört. Daraus folgt, dass der Krystall, wenn er bei irgend

*) [Letzteres ist jedoch der Fall bei dem rhombisch krystallisirten Topas.]

einer Art von horizontaler Aufhängung auf die Pole eines Magneten hinweist, ein *positiver*, dagegen, wenn er sich äquatorial stellt, ein *negativer* ist.

Die Magnekrystallaxe ist, optisch gesprochen, glaube ich, die den (spitzen) Winkel zwischen den beiden optischen Axen halbirende Linie, oder wenn der Krystall ein einaxiger ist, die Axe selbst. Die Krystalle von Wismuth und Arsen sind positive Krystalle, die von Antimon nach meinen Versuchen negative. Alle sind einaxig.

2) Der *Cyanit* ist bei weitem der interessanteste Krystall, den ich untersucht habe. Horizontal aufgehängt zeigt er *vermöge der Magnetkraft der Erde allein* sehr gut gen Nord. Er ist eine wahre Compassnadel und mehr als dies: Sie können seine Declination erhalten. Hängen Sie denselben z. B. so auf, dass die den Winkel der beiden optischen Axen halbirende Linie in der durch die Axe B des Prismas gehenden Verticalebene liegt, so stellt sich der Krystall genau so wie eine Compassnadel. Drehen Sie nun den Krystall um die Linie B, so können Sie machen, dass er genau nach dem Norden der Erde zeigt u. s. w.

Der Krystall stellt sich nicht vermöge des Magnetismus seiner Substanz, *sondern bloss in Folge der magnetischen Einwirkung auf seine optischen Axen.* Dies steht in vollem Einklang mit dem verschiedenen Gesetz, nach welchem die rein magnetische und die optomagnetische Wirkung mit der Entfernung abnimmt. Nähern Sie dem Nordende des aufgehängten Krystalls den Südpol eines permanenten Magnetstabes von hinreichender Stärke, um den Magnetismus der Erde zu überwältigen, so wird die Axe B des Prismas mit der Axe des Stabes (was für eine Richtung dieser Stab auch in der Horizontalebene haben möge) genau *denselben* Winkel machen, den er zuvor mit der Meridianebene machte, da der Krystall entweder mehr gen Osten oder mehr gen Westen gerichtet war.

Der Krystall zeigt auch, insofern einer Magnetnadel ähnlich, eine starke Polarität, da er immer dasselbe Ende nach Norden richtet. Ich halte dies für eine *Polarität der optomagnetischen Kraft.*

Es bieten sich hier zwei Fragen dar. Wird der Nordpol durch die Krystallform angedeutet, und erhielt der Krystall nach seiner Bildung die Polarität durch den Erdmagnetismus? Zwischen den Polen eines starken Elektromagneten verschwand, so lange derselbe erregt war, die permanente Polarität.[1])

14.

Ueber den Einfluss der Umgebung eines Körpers auf die Anziehung oder Abstossung, die er durch einen Magnet erfährt.

(Annalen der Physik und Chemie, Bd. 77, S. 578—586. 1849.)

1) Ich habe bereits in einer früheren Abhandlung*) die directe Wirkung eines Magneten auf Flüssigkeiten mit freier Oberfläche nachgewiesen, mich damals aber hauptsächlich darauf beschränkt, die *Formänderung der Oberfläche* zu bestimmen. Diese Formänderung ist offenbar eine Folge der Anziehung oder Abstossung, welche die kleinsten Theile der Flüssigkeit durch die Pole des Magneten erleiden, wodurch die Wirkung der Kraft der Schwere auf dieselben modificirt wird. Die entsprechenden Aenderungen in dem *Gewichte* der Flüssigkeiten durch den Magneten bestätigen sich durch die Anwendung der Waage, die ein neues Mittel giebt, den Magnetismus sowohl als den Diamagnetismus aller festen und flüssigen Körper zu vergleichen und, wie bei der specifischen Wärme und dem specifischen Gewichte, durch absolute Zahlen auszudrücken.**) Die durch den Magnetismus und Diamagnetismus modificirte Wirkung der Schwere auf die kleinsten Theilchen einer Flüssigkeit zeigt sich endlich auch, *wenn wir in diese einen festen Körper eintauchen*, und giebt hier eine Erklärung der Erscheinungen, die, wie einfach sie auch sein mag, von berühmten Physikern dennoch missverstanden worden ist; ein Missverständniss, das ganz kürzlich noch Herrn Edmund Becquerel zu Hypothesen geführt hat, die meiner Meinung nach gegen die gesunden Principien der Naturforschung verstossen.

2) Bringen wir, um uns zunächst an eine bestimmte Anschauung zu halten, eine magnetische Flüssigkeit über einen magnetischen Pol, so kommt die Wirkung dieses Poles auf die kleinsten Theilchen der

---

*) Annalen, Bd. 73, S. 549. [Abhandlung 4, § 2.]
**) Annalen, Bd. 74, S. 321. [Abhandlung 7.]

Flüssigkeit zu der Wirkung der Schwere hinzu, und die Erscheinung verhält sich gerade so, als ob die Schwere zugenommen hätte, und zwar für diejenigen Flüssigkeitsschichten, die dem Pole näher liegen, mehr, als für die entfernter liegenden.[1]) Machen wir die immer mehr oder weniger von der Wirklichkeit abweichende Voraussetzung, dass die resultirende magnetische Anziehung auf alle Flüssigkeitstheilchen senkrecht nach unten wirke, so bleibt auch bei hinzutretender magnetischer Wirkung für jede horizontale Flüssigkeitsschicht der hydrostatische Druck derselbe. War in die Flüssigkeit vor der magnetischen Erregung ein fester Körper eingetaucht, und hatte er, dem archimedischen Principe gemäss, so viel von seinem Gewichte verloren, als die Flüssigkeit wog, die er aus der Stelle trieb, so muss er nach Erregung des Magnetismus *in Folge desselben Princips* durch sein Eintauchen gerade um eben so viel mehr von seinem Gewichte verlieren, als die aus der Stelle getriebene Flüssigkeit schwerer geworden ist, das heisst um so viel, als die magnetische Anziehung dieser Flüssigkeit betrug. Wenn die Flüssigkeit diamagnetisch ist, so vermehrt sie umgekehrt das Gewicht des eingetauchten Körpers.

3) Wir ziehen hieraus die folgenden allgemeinen Resultate[2]):

Die Anziehung eines magnetischen Körpers, der in eine magnetische oder diamagnetische Flüssigkeit eingetaucht wird, nimmt gerade um so viel ab oder zu, als die magnetische Anziehung oder diamagnetische Abstossung der aus der Stelle getriebenen Flüssigkeit vor dem Eintauchen betrug. Die Abstossung eines in dieselbe Flüssigkeit eingetauchten diamagnetischen Körpers nimmt umgekehrt gerade um so viel zu oder ab, als die magnetische Anziehung oder diamagnetische Abstossung der aus der Stelle getriebenen Flüssigkeit betrug.

Wenn also der eingetauchte Körper sowohl als die Flüssigkeit, beide magnetisch oder beide diamagnetisch sind, die Flüssigkeit aber jedesmal stärker als der eingetauchte Körper, so geht einmal die magnetische Anziehung dieses letztern in diamagnetische Abstossung, das andere Mal diese in jene über.

4) Wenn der magnetische Pol nicht von unten, sondern wenn er von oben wirkte, so sind die Erscheinungen von der Art, als ob die Flüssigkeit, wenn sie magnetisch ist, leichter, und wenn sie diamagnetisch ist, schwerer geworden wäre.

Wenn der Magnet nach horizontaler Richtung auf die Flüssigkeitstheilchen wirkt, so wird die Schwere derselben dadurch nicht geändert; zu der Kraft der Schwere kommt dann noch, wenn ich den bildlichen Ausdruck gebrauchen darf, ein Gravitiren nach der Richtung der magnetischen Kraft hinzu.

Auch für diese Fälle gelten die allgemeinen Gesetze der vorigen Nummer. Sie gelten mit mathematischer Genauigkeit in derselben Ausdehnung als das archimedische Princip.[2]) Dieses Princip können wir aber in folgender Weise erweitern.

Wenn nicht speciell die Kraft der Schwere und diese allein, sondern wenn beliebig viele Kräfte wirken, die nach beliebigen Punkten Anziehung und Abstossung auf die kleinsten Theilchen eines festen Körpers und der ihn umgebenden Flüssigkeit ausüben, wie dieses zum Beispiel bei jedem Magnete der Fall ist — so erleidet der eingetauchte Körper eine Wirkung, die der Wirkung auf denselben Körper, wenn er im leeren Raume sich befände, weniger der Wirkung auf diejenige Flüssigkeit, die früher seine Stelle eingenommen hatte, gleich ist. Ebenso verhält sich's auch, wenn wir nicht die Totalwirkungen nehmen (deren jede im Allgemeinen einer resultirenden Kraft und einem resultirenden Kräftepaare zuzuschreiben ist), sondern diese Wirkungen, wie sie nach einer gegebenen Richtung zerlegt stattfinden.

5) Diese Resultate lassen sich leicht durch den Versuch zur Anschauung bringen. Ein gegen den Magneten wenig empfindliches Aräometer, für das wir zum Beispiel eine theilweise mit Quecksilber gefüllte dünne Glaskugel mit enger Röhre nehmen können, steigt oder sinkt sehr entschieden, wenn es in eine Lösung von Eisenchlorid oder Eisenvitriol oberhalb oder unterhalb der beiden genäherten Pole eines starken Elektromagneten in die Nähe derselben gebracht wird. Eine entgegengesetzte Wirkung tritt in einer diamagnetischen Flüssigkeit ein.

Befindet sich die Flüssigkeit zwischen den beiden in derselben Horizontalebene liegenden Magnetpolen, und die Aräometerkugel in eben derselben Ebene, so wird dieselbe in dem Falle einer magnetischen Flüssigkeit von der Mitte nach dem näheren Pole, in dem Falle einer diamagnetischen Flüssigkeit von den Polen nach der Mitte getrieben. Im ersten Falle hat sie in der Mitte ein labiles, im zweiten Falle ein stabiles Gleichgewicht.[3])

6) Hieraus erklärt sich ferner, durch die blosse Aenderung des hydrostatischen Druckes, die unerwartete Leichtigkeit, mit der sich diamagnetische Körper in magnetischen, und magnetische Körper in diamagnetischen Flüssigkeiten richten, trotz des grossen Widerstandes, den diese ihrer Drehung entgegenstellen: Erscheinungen, die Herr Faraday gleich in seiner ersten Mittheilung in experimentaler Hinsicht erschöpfend dargelegt hat.

7) Wenn sich oberhalb der Pole eines Magneten eine *gasförmige* Flüssigkeit befindet, so nimmt auch diese, wenn sie diamagnetisch ist

— ich halte bis jetzt noch das Vorhandensein magnetischer Gase für unwahrscheinlich — an Gewicht ab in Folge der Wirkung der Magnetpole auf die kleinsten Theilchen derselben, die hier der Schwere entgegenwirkt. Die verminderte Wirkung der Schwere bringt aber, in Folge der Expansivität und Compressibilität der Gase, nothwendig eine verminderte *Dichtigkeit* derselben mit sich. Es ist mir gelungen, diese durch eine luftthermometerartige Vorrichtung direct nachzuweisen*) und somit unsere Annahme, dass der Magnet auf die kleinsten Theilchen des Gases abstossend wirke, zu bestätigen.

8) Das archimedische Princip gilt aber für Gase wie für Flüssigkeiten, und nach eben diesem Principe kommen wir auch hier zu diesem Resultate, dass die magnetische Anziehung oder diamagnetische Abstossung eines Körpers oberhalb der Magnetpole dadurch, dass er von einem Gase umgeben ist, um so viel zu- oder abnimmt, als die aus der Stelle verdrängte gasförmige Flüssigkeit durch die ihrerseits erfahrene diamagnetische Abstossung leichter geworden ist.[4]) Diese Wirkung ist so verschwindend klein, dass Herr Faraday in keinem seiner vielfach modificirten Versuche eine solche nachweisen konnte, und für Luft wenigstens steht eine solche Nachweisung nicht zu erwarten.

Der *leere Raum* kann, eben weil er keinen hydrostatischen Druck ausübt, nach den vorstehenden Principien auf einen magnetischen oder diamagnetischen Körper nicht einwirken. Und doch behauptet Herr Edmund Becquerel, der umgebende leere Raum mit seinem imponderabilen Aether sei es, der das schwere Wismuthstück von den Polen eines Magneten forttreibt.**)

---

*) Vergleiche die erste der früher citirten Abhandlungen, Annalen, Bd. 73, S. 579—581. [Werke II, S. 61 und Anmerkung 5 dazu.]

**) Herr Becquerel resumirt die Gesetze, die er gefunden, wörtlich in Folgendem:

1) Tous les corps s'aimantent sous l'influence d'un aimant comme le fer doux lui-même, mais à un dégré plus ou moins marqué, suivant leur nature.

2) L'aimantation momentanée d'un corps ne dépend pas de sa masse, mais de la manière, dont se trouve réparti l'éther dans ce corps.

3) Une substance est attirée par un centre magnétique avec la différence des actions exercées sur cette substance et sur le volume du milieu déplacé. — Ce troisième principe est donc analogue au principe d'Archimède pour la pésanteur, avec cette différence, que celui-ci s'applique à la masse du corps, tandis que l'intensité magnétique développée par influence dans une substance n'en dépend nullement . . . On peut se demander comment il se fait que dans le vide tous les corps ne soient pas attirés par les aimants, alors qu'il n'y a plus de particules matérielles qui les entourent, et que des substances, telles que le bismuth, le soufre, le phosphore etc., soient presque autant repoussées dans le vide que dans l'air. Il est nécessaire d'admettre que le milieu étheré, à l'aide duquel

9) Eine Kraft, die nicht an wägbare Materie gebunden ist, hat bisher kein Analogon; im vorliegenden Falle ist es eine Abstraction von einem missverstandenen Versuch. Herr Becquerel verkennt, dass es dem hydrostatischen Drucke zuzuschreiben ist, wenn zum Beispiel ein Wismuthstück in einer Eisenchloridlösung viel stärker abgestossen wird, als in der Luft; er sieht darin vielmehr eine directe Wirkung der magnetischen Vertheilung innerhalb der Flüssigkeit. Es lässt sich aber, ich möchte sagen mathematisch, nachweisen, dass diese mystische Wirkung des ohne dieses schon so räthselhaften Aethers ein blosses Hirngespinnst ist. Denn die oben erwähnte Zunahme der Abstossung des Wismuths ist ganz und gar eine nothwendige Folge des veränderten hydrostatischen Druckes: *in dieser Erscheinung bleibt für die hypothetische Wirkung des Aethers nichts übrig.* Diese Wirkung ist also nicht vorhanden, oder das archimedische Princip unwahr.[5])

10) Die Becquerel'sche Hypothese erweiset sich auch als ungereimt, wenn wir weitere Folgerungen aus ihr ziehen. Nach ihr würde zum Beispiel, wenn wir auf einen Pol einen magnetischen, festen oder flüssigen Körper bringen, die innere Masse desselben nicht angezogen werden, sondern bloss seine Oberfläche, und daher nur diese an Gewicht zunehmen.

Doch genug; ich erwähne nicht der vielfachen Versuche, die Herr Becquerel geradezu als falsch erklären muss, um seine Hypothese zu halten. Genug, der Diamagnetismus besteht neben dem Magnetismus, wie positive und negative Elektricitäten neben einander bestehen, und die Entdeckung desselben, die Entdeckung eines Gegensatzes in der magnetischen Wirkung, wie sie in der elektrischen Wirkung schon lange bekannt war, ist eine der grössten Bereicherungen, welche die Physik in diesem Jahrhundert erhalten hat, die so wenig durch die neue Hypothese des Herrn Becquerel erschüttert wird, als durch die frühere, jetzt schon völlig verklungene, dass ein Wismuthstab nichts als ein Transversalmagnet sei.

Die Gesetze der 3. Nummer erleiden für den Fall, dass die Flüssigkeit sehr stark magnetisch ist, eine kleine, aber doch wahrnehmbare Modification dadurch, dass gleichzeitig auch die kleinsten Theilchen der Flüssigkeit auf einander einwirken. Befindet sich die Flüssigkeit oder statt derselben ein fester magnetischer Körper oberhalb eines

---

se transmettent les actions magnétiques, est influencé de la même manière, quoique à un dégré différent, dans une enceinte vide que dans une enceinte contenant de la matière, et qu'une enceinte vide se comporte comme un milieu plus magnétique que la substance la plus repoussée, c'est-à-dire le bismuth.

Comptes rendus. Séance du 21. Mai 1849.

Poles, so verstärkt die fragliche Wirkung die magnetische Anziehung auf die entfernteren Theile. Gerade das Umgekehrte findet statt, wenn der magnetische Körper auf beiden Polen zugleich aufliegt, von einem derselben zum andern eine Brücke bildend. Ich habe beides bereits in der oben citirten Abhandlung nachgewiesen.*)

11) Die Säule einer magnetischen Flüssigkeit, die auf einem Pole oder auch auf beiden Polen aufsteht, erleidet, wie ein aufstehender Cylinder von Eisen, in ihrem Innern eine magnetische Vertheilung. Es schien mir von Interesse, diese magnetische Vertheilung im Innern der Flüssigkeit — die Vorgänge im Innern eines Magneten — durch die veränderte Anziehung, die eine an einem Arme der Waage aufgehängte und in die Flüssigkeit an verschiedenen Stellen derselben eingetauchte Kugel erleidet, nachzuweisen. Einige vor längerer Zeit bereits angestellte vorläufige Versuche zeigten mir indess die Schwierigkeit dieser Untersuchung, eine Schwierigkeit, die hauptsächlich darin besteht, dass wir der stärker magnetischen Flüssigkeiten uns bedienen müssen und auch hier noch, um die Kraft zu verstärken, über den beiden angenäherten Polen operiren müssen. Die magnetischen Flüssigkeiten sind aber immer mit diamagnetischen (den Auflösungsmitteln) gemengt, wonach das allgemeine Gesetz über die verschiedene Abnahme des Magnetismus und Diamagnetismus mit der Abnahme der Stärke des Elektromagneten und folglich auch mit der Entfernung von den Polen neue störende Rücksichten in die Beobachtung hineinbringt. Die folgenden Beobachtungen füge ich schliesslich noch hinzu, eben weil sie eine neue Bestätigung des fraglichen Gesetzes geben.

Es wurde ein Lampenglas durch ein angekittetes Glimmerblättchen an einem Ende verschlossen und mit dem verschlossenen Ende auf die bis auf einige Millimeter genäherten und ihre abgerundeten Enden einander zukehrenden grossen Halbanker aufgesetzt. Eine Wismuthkugel, 10—12^{mm} im Durchmesser, wurde nach Erregung des Magnetismus an den einen Arm einer Waage so aufgehängt und äquilibrirt, dass sie im Innern des Glases das Glimmerblättchen gerade oberhalb der Pole eben berührte. Nach Unterbrechung des durch *acht* Grove'sche Elemente erregten Stromes nahm die Kugel an Gewicht zu, und es wurde dasjenige Gewicht bestimmt, welches hinzukommen musste, damit dieselbe anfing, sich von dem Glimmerblättchen zu entfernen. Das so bestimmte Gewicht gab die diamagnetische Abstossung der Kugel in der Luft. Bei derselben Stromstärke wurde in ganz gleicher Weise die Abstossung des Wismuths zuerst *in Wasser*, dann in einer *mässig*

*) Vergl. § 1 der zweiten vorhin citirten Abhandlung. [Werke II, S. 77—79.]

concentrirten Auflösung von Eisenchlorid bestimmt. Hierauf wurde der Magnetismus durch bloss *vier* Tröge erregt, und die Abstossung der Wismuthkugel in *derselben Chloridlösung* und nachher, nachdem Glas und Kugel abgespült worden waren, in *Wasser* bestimmt. Es ergaben sich hierbei die nachstehenden Resultate:

	Abstossung der Wismuthkugel ausgedrückt in Milligrammen	
	acht Tröge	vier Tröge
In der Luft	785	—
In Wasser	745	490
In Chloridlösung	885	1050

15.

SACRAM MEMORIAM

REGIS SERENISSIMI

DIVI

FRIDERICI GUILELMI III.

AUGUSTISSIMI HUIUS UNIVERSITATIS CONDITORIS

NATALI EIUS DIE III. MENSIS AUGUSTI
HORA XI.

AB LITTERARUM UNIVERSITATE FRIDERICIA
GUILELMIA RHENANA

PIE CELEBRANDAM

INDICIT

IULIUS PLÜCKER
ORDINIS PHILOSOPHORUM H. A. DECANUS

PRAEMISSA ENUMERATIONE NOVORUM PHAENOMENORUM
RECENTISSIME A SE IN DOCTRINA DE MAGNETISMO INVENTORUM.

ACCEDIT TABULA LITHOGRAPHICA.

BONNAE A. CIↃIↃCCCXXXXIX.
LITTERIS GEORGIANIS.

Coortis vixdum magnis illis animorum motibus, qui cultioris Europae partem longe amplissimam graviter concusserunt, equidem quaestionum earum seriem confeceram, quibus mathematicae disciplinae locum illustrem, adstipulantibus, ut spero, harum rerum peritis, nova prorsus specie novaque luce exornasse mihi videor. Ac sane mirifice etiamtum his studiis deditus eram, nec quominus inceptum laborem decurrerem, ullo pacto deterrebar, licet multa eaque sat gravia obstarent impedimenta, quae nihil attinet hoc loco commemorare. Quin etiam contemnendas putabam suspiciones quasdam et calumnias, quibus in altero professionis meae publicae munere obnoxius eram. Sed ut primum eo, quo intenderam, perveni, nihil antiquius habui, quam ut existimationem meam a malignitate defenderem. Iamque naturae arcana nonnulla, paullo quam contigisset ante, felicius indagaveram, cum temporum ratio optimum quemque impellere videbatur, ut reipublicae communique saluti iuvandae operam navaret. Aliquamdiu incertus eram, quid agerem; sed cum eos ipsos viros, quorum summa apud me esset auctoritas, altiora velle, quam tum quidem efficere possent, intelligerem, animoque praeviderem mala, sola experientia sananda, otiosus spectator quam particeps rerum esse malui. Quod consilium si forte excusatione egere videatur, dabunt eam, opinor, hae schedulae, in quibus quidquid novi ab eo inde tempore in physica experimentali inveni, quam brevissime potui, perscripsi.

I.

De modo quo corpora solida magnetismi vi afficiuntur.

Clarissimus Faraday notissima illa commentatione, qua magnetismi doctrinam tanto provexit, ut novam illinc aeram deduci summo iure dicere possis, demonstravit, magnetismum omnia corpora afficere et id quidem duplici ac contrario modo, ita ut duas in classes distribuantur,

in magnetica, quibus eadem ac ferro ad magnetem est relatio, atque in diamagnetica, quae sicuti bismuthum, massam si spectas, non adtrahuntur sed repelluntur et quae inter polos suspensa non axialiter diriguntur, i. e., ut directio longitudinalis eadem sit ac lineae polos coniungentis, sed aequatorialiter, i. e. illi lineae perpendiculariter. Quibus in experimentis repetendis subtiliorem suspendendi modum adhibentes, pro navicula (papyracea e. gr.) scilicet solo bombycis filo utentes, non, ut creditum erat, omnes animalium et plantarum partes diamagneticas esse, reperimus. Ita, exemplum ut proferamus, lex nobis visa est universalis, *cortices arborum aliarumque plantarum semper magnetice, partes contra internas omnes diamagnetice sese habere.* Elytra porro coleopterorum v. gr. melolonthae vulgaris magnetica inveniuntur. Neque, quod fortasse conieceris, ullum est discrimen actionis, de qua agitur, inter ranae nervos et musculos. Mox autem talibus de disquisitionibus sane dignis, quibus physiologi studium admoveant, ad altera deducti sumus experimenta.

II.

De corporibus liquidis magneticis et diamagneticis.

Non solum corpora solida, verum etiam liquida magnetica aut diamagnetica esse, cl. Faraday hoc modo demonstravit, ut tubulum vitreum, parietibus tenuibus, illis impletum inter polos suspensum et oscillantem observaret. Aliud spectantes liquorum magnetismum novis experimentis perquisivimus. Haud ignorantibus nobis, magnetem omnes corporis magnetici particulas minimas adtrahere, diamagnetici contra moleculas repellere, eluceret, necesse erat, aequilibrum hydrostaticum fluidorum magnetis vi turbari et hanc ob causam superficiem liberam forma mutari. Planis igitur polorum magni validique, quo usi sumus, electromagnetis maiores armaturas (v. tab. I fig. I) ita imposuimus, uti canales terram spectarent et partes curvae altera alteri oppositae essent, indeque vitro horologii in illis collocato liquorem infudimus perquirendum. Pro vitro interdum foliolo micae fluido humectato uti melius videbatur. Quodsi adhibes liquorem magneticum, imprimis solutionem maxime saturatam ferri muriatici, pulcherrimum admiraberis phaenomenon; namque veluti scobes ferreae polis magnetis iniectae illo loco praecipue aggregantur, quo maxima agit vis, ita et liquor. Quem eundem locum liquorem diamagneticum fugere, inde coniicies.*) Fluidum,

*) Ann. Pogg. Vol. LXXIII. „Experimental-Untersuchungen über die Wirkung der Magnete auf gasförmige und tropfbare Flüssigkeiten.“ 21. Februar 1848. [Abhandlung 4, § 2.]

cuius aliquot guttas vitro infuderis, polis ad quaedam usque millimetra admotis, e superficiei forma mutata illico aut magneticum aut diamagneticum cognosces, quam formam mutatam obiecto quodam satis remoto superficie reflecto facillime percipies. Hoc simplicissimo modo aqua, alcoholum, cetera diamagnetica reperiuntur, etiam hydrargyrum, dummodo vasi infuderis e metallo confecto et ante amalgamato, quo illo humectetur; item kali borussici rubri solutio magneticam, fulvi diamagneticam se praebet. Sanguinem ranae, bovis, humanam diamagneticam invenimus.

Primi adhibuimus libram, qua corporum pondera, magnetica adtractione aucta aut diamagnetica repulsione diminuta, patefaceremus, quibus de experimentis quae deduxerimus paragrapho V. proferemus. Eodem instrumento uti licet ad determinandum magnetismum aut diamagnetismum auctum aut debilitatum corporis liquori alicui immersi. Quam viam sequuti leges protulimus, quae, si vis, nil nisi lex Archimedica longius extensa videntur, pro gravitate magnetismi vi substituta. En, quae sint.

Quodsi magnes alicuius corporis moleculas et cuiusdam fluidi illi circumdati, vel adtrahens vel repellens, sollicitat, magnetis effectus in corpus immersum idem est atque in corpus vacuo circumdatum, effectu subtracto in liquorem qui illius implevit volumen.

Aequo modo res se habet, si non effectum integrum respicis (qui in universum adtribui potest vi unicae atque virium pari, „*couple*“), sed qui est in aliquam directionem (correspondet vi modo relatae datam in directionem projectae). Quibus e legibus clarissime elucet, cur araeometrum, cuius globus parum tantum magnete afficitur, magnetismo excitato, supra polis in liquore magnetico ascendat, in diamagnetico fundum petat, infra polos contrario modo se habeat, cur inter polos in liquido magnetico ad propiorem accedat, in diamagnetico medium versus tendat*); patet, qua de causa solidum magneticum in liquore magis magnetico diamagnetice sese habeat, alteram vero in partem diamagneticum in liquore magis diamagnetico magnetice; optime intelligimus, qua ratione cylindrus e bismutho fabricatus, imo etiam e vitro non ita magnetico confectus, in saturata solutione sulfatis ferrici contra resistentiam, quam medium ei opponit, inter polos suspensus, tanta vi dirigatur; concludimus denique, leges nuper modo ab Edmundo Becquerel pronuntiatas, quae spatium vacuum bismuthum a polis depellere iubent, esse falsas.**)

---

*) [Siehe Anmerkung 3 zu Abhandlung 14.]

**) Comptes rendus; séance du 21. mai 1849. „Ueber den Einfluss der Um-

Ad perquirendam adtractionem et repulsionem *corporum pusillorum* primi *microscopio* usi sumus, legem supra expositam nunquam non respicientes. Maxime commodum nobis visum est, armaturis foliolum micae imponere, cui liquidum examinandum infunderetur; speculum infra illud collocatum lucem necessariam sursum immittebat. Tali modo et sanguinem ranae et lac, totam si spectas massam, polos fugere, observavimus, insuper autem in utroque globulos respective cruoris et adipis suo et proprio motu de punctis, quibus maxima exhibebatur vis magnetica, repelli animadvertimus, unde globulos illos magis magneticos esse sequitur.

III.

De magnetis agendi modo in corpora aëriformia.

Primum cl. Faraday corpora aëriformia magnete non sollicitari censuit, et quae paragrapho praecedente memoravimus docent, magnetis vim eam, quam in gazum loco motum exerceat, non tantum in corpus solidum valere, quamsi si pro corpore aëriformi liquidum substitueris, imo vim tam exiguam et debilem fore, ut ne via quidem loco citato exposita observari possit. Quum modo a cl. Faraday excogitata experimenta repetenda adtigissemus, ferrum flammae, cuius ellychnium solutione ferrica oblitum erat, magnetis ope ostendere conati, flammam potius repulsam esse notavimus, neque tamen hac de re quidquam fecimus, quippe qui quae exspectaveramus non videremus.

Hucusque ventum erat, quum Bancalari et Zantedeschi candelae flammam electromagnetis polos fugere observarent; quid veri igitur similius, quam quod huius phaenomeni causa effectui adscriberetur magnete in flammae gaza exercito? Qua ratione commotus cl. Faraday experimenta antea derelicta denuo recepit; quod quidem ignorantes nosmet ipsi experimenta composuimus, e quibus quae sequerentur in Ann. Pogg. vol. LXXIII. publicavimus. Ostendimus, repelli vapores iodi, chlori, bromi, acidi nitrosi, hydrargyri, aquae, nec non aërem rheophoro calefactum et sole illustratum et umbram in papyrum proiicientem; animadvertimus inde, polos fugere flammas candelarum e sebo, cera, stearino confectarum, spiritus vini et libere et cum ellychnio combusti, sulfuris, phosphoris, hydrogenii. Imprimis autem memoria dignum videtur phaenomenon, quo flamma olei terebynthini aut candelae sebatae valde fumantis inter polos V ad X elementorum galvanicorum ope magnetica vi imbutos collocatae oculos delectat. Quod

---

gebung eines Körpers auf die Anziehung oder Abstossung, die er durch einen Magneten erfährt." Comm. fascicul. prox. Ann. Pogg. edenda. [Abhandl. 14, S. 149.]

quidem optime nobis evasit armaturis in tabula adiecta littera (H) designatis utentibus et ita dispositis, ut acumina (b) ad aliquot millimetra usque alterum alteri adpropinquata essent utque eorum partes delimatae flammae basin spectarent. Ne aër fluctuans flammam turbaret, mensae imposita erat libra Coulombii, cuius pars superior, columnam ferens, demta erat, ne fumus provolutus flammam alimento privaret. Qui idem fumus haud secus ac flamma ipsa repellitur et in altum ascendens lineas format parabolicas, distincte limitatas, flammae acclinatas.

Cl. Faraday huncce perquirendi modum secutus est, ut gazis aëre levioribus de parte inferiori polorum inter hosce ipsos ascendentibus vasa superne locis diversis disposita offerret, et quae vasa impleta essent chemica arte videret; quae gaza vero aëre graviora essent, super polos veluti liquorem effunderet infraque reciperet. Attamen quamvis ingeniose excogitata esset haec agendi ratio, nihil certi de magnetismi natura praebuit eam ob causam quod gaza perquisita non libera sed sua parte iterum gazis essent circumdata. Hoc tantum discrevit, num aliquod gazum plus an minus esset diamagneticum altero, aut, quod dirimi nequibat, plus an minus magneticum. Quod in planum propellere vide quo modo susceperimus. Si minimae corporis aëriformis particulae viribus ab aliquo puncto exeuntibus repelluntur, necesse prorsus est, ut, quum illi tanta sit elasticitas *(Compressibilität* und *Expansibilität)*, non solum pondere, verum etiam densitate circum punctum memoratum mutetur. Unde concludimus fore, ut thermometrum aëre impletum et guttula clausum inter polos positum, magnetismo excitato, eodem modo se haberet, quasi aër inclusus caloris vi extenderetur. Experimentum, hoc modo compositum et institutum, expectationem non fefellit. Polis collacavimus armaturas maiores partibus curvatis adversis, V tantum millimetris admotis, interque ipsas thermometri vas posuimus tali forma e tenui lamella aerea fabricatum, ut anguste armaturis adplicaretur (v. fig. K). Temperatura aliquo tempore praeterlapso aequa facta, thermometri in tubulum vitreum, cuius diameter internus circa I millimetrum explebat, guttula spiritus vini est immissa. Gyro electrico, qui decem elementis galvanicis excitabatur, clauso (tum temporis cruribus electromagnetis nondum quot nunc spirae fili cuprei erant circumvolutae), guttula II ad III millimetris, orificium tubuli versus, celeritate mox retardata est promota et, gyro interrupto, quem locum ante tenuerat mox recuperavit. *Tum primum aëris diamagnetismus, ut nullo dubio locus esset relictus, comprobatus erat simulque agendi ratio erat indicata, qua non solum pervestigare posses, utrum aliquod gazum esset magneticum an diamagneticum, verum etiam quanta esset haec aut illa vis exactissime metiri valeres.* Nihil scilicet opus est, quam ut

pro aëre gazo perquirendo thermometrum impleas. Hic est locus multorum experimentorum maximi momenti adhuc instituendorum, atque haec est via ad gravissimas quaestiones hucusque pendentes disceptandas.

IV.

De ratione diversa qua magnetismus et diamagnetismus augeantur et diminuantur. Polaritas diamagnetica.

In experimentis quae paragrapho I. descripsimus faciendis mirum nobis est visum, quod particula corticis arboris aut elytri melolonthae, cui plerumque oblongam dabamus formam, hoc die magnetica, postero diamagnetica adparuit. Quae res rara, postquam ad detegendam novam phaenomenorum magneticorum paragrapho VIII. descriptorum classem nos conduxit, ut discuteretur poscebat. Mox nobis eluxit, causam, cur corpora nunc quasi magnetica, nunc quasi diamagnetica inter polos dirigerentur, eam esse, quod non aequa semper distantia a polis abessent, atque illud venire in omnibus corporibus, quae substantias continerent et magneticas et diamagneticas ita inter se mixtas, ut haud multum abesset, quin illarum magnetismus harum diamagnetismo esset aequus. Quod quidem cylindri ope demonstravimus e bismutho diamagnetico et stanno, ferro contento, magnetico compositi, qui cylindrus non aliter ac substantiae modo dictae se habuit.

Ad exponendas res supra relatas hypothesin posuimus, repulsionem magnete exercitam rapidius cum distantia decrescere quam adtractionem. Parvuli cylindri e varii generis ligni carbone confecti optime cognosci potuere, polis adpropinquatis, aequatorialem in situm dirigi, polis contra magis remotis aut quum ipsi cylindri filo bombyceo librae Coulombii involuto in altius evecti essent, distincte situm petivere axialem. Paulo post autem, reapse variam distantiam phaenomeni causam non esse, sed potius, e gyri intensitate pendentem, magnetis energiam perspeximus. Etenim eundem illum cylindrum e carbone esectum, polorum distantia eadem manente, si I—II elementis galvanicis uteris, axialiter dirigi observabis et, si III plusve elementa adhibebis, aequatorialiter poni videbis. Unde hancce legem universe valentem deduximus:

Ipsius materiae diamagnetismus, magnetis vi decrescente, neque minus, quod inde sequitur, polis magis remotis, celerius debilitatur quam magnetismus. *)

*) Ann. Pogg. LXXII. p. 343. „Ueber das Verhältniss zwischen Magnetismus und Diamagnetismus.“ 25. Juli, 1847. [Abhandlung 3.]

Ibid. LXXIII. p. 613. „Ueber ein einfaches Mittel, den Diamagnetismus

Quae quidem lex hisce tenetur et confirmatur experimentis. Quodsi horologii vitro tantum hydrargyri infuderis, ut vitri magnetismus mercurii vincat diamagnetismum, atque si, uti vitrum, magnetismo nondum excitato, brachio staterae adligatum armaturas invicem adpropinquatas vix tangens, cum altera lance teneat aequilibrium, effeceris, post gyrum magneti circummissum illud adtrahi videbis. Tum alteri lanci si pondera sensim inieceris, donec adtractionem superant, vitrum ab armaturis deripitur, paucis vero millimetris distans retinetur et tum demum omnino evehitur, quum gyrus sit interruptus. Qui agendi modus omne prosternit dubium; facile autem te fallet, nisi cavebis, quum librae momentum rotationis magnetismi effectui accedat.

Postea idem experimentum hac via repetivimus.*) Statera ita instituta, ut in altius posset tolli, eodem in vitro bismuthum posuimus et, aequilibrio reparato, post magnetismum excitatum nunc maxime distincte vidimus adtractionem, nunc repulsionem, quoad libra eveheretur aut demitteretur, aut quoad gyrus minori aut maiori elementorum numero efflueret. Ita, quod maxime mirum est phaenomenon, corpus e magneticis et diamagneticis substantiis constans, gravitatis vi subductum, certa quadam distantia a magnete remoto pendente de polis disiunctum *libere in aëre suspensum tenetur et hunc aequilibrii situm propulsum oscillationibus repetit.*

In experimentis novissime commemoratis iusta distantia vitrum cum bismutho principio adtrahitur, mox repellitur; quae quidem res legem generalem confirmat, quum, ut bene scis, electromagnes, quam totam potest, energiam non temporis momento impetret.

Inter armaturas longius invicem remotas cylindrus longior oscillans, eidem obediens legi, situm petit obliquum, quippe qui aequatorialis polis longius remotus, axialis vero sit proprior. Itaque obliqui situs aequilibrium (quod primum haud raro hisce in experimentis mentem nostram turbavit) corpus indicat ex elementis partim magneticis, partim diamagneticis mixtum.**)

Comprobata est denique lex illa eo, quod globi e bismutho tornati solutioni sulfatis ferrici immersi diamagnetismus huius salis magnetismo IV elementis elicito magis augebatur quam VIII, cuius quidem rei causa haec putanda est, quod solutioni et diamagnetica aqua

---

schwingender Körper zu verstärken. Diamagnetische Polarität." 21. Febr., 1848. [Abhandlung 6.]

*) Pogg. Ann. LXXV. p. 416—418, 1848. [Abhandlung 11, S. 132.]

**) l. c. p. 414. [Abhandl. 11, S. 131.]

et magneticus sulfas ferricus inerat, illiusque diamagnetismus rapidius accrescebat quam huius magnetismus.

Iam vero satis nobis protulisse videmur ad confirmandam legem supra expositam et explicatam, quae est maximi momenti in disciplina magnetismum tractante. Etenim si magnetismus et diamagnetismus nihil essent nisi diversarum distantiarum functiones de magnetis energia neutiquam dependentes, non eidem vi primariae adscribere possemus. Sed quae nunc rerum est ratio, supponi licet, utrumque eodem de fonte ducere originem, eandem sequi legem qua intensitas cum distantia est coniuncta, atque, ut ita dicamus, vi diamagneticae maiorem resistentiam, maius obstaculum obiici quam magneticae.

Quae sentiendi ratio eo etiam veri est similior, quod cl. Reich eodem adparatu, quo telluris densitatem mensus est, *polaritatem* existere *diamagneticam* demonstravit; idem cl. Poggendorff postea et simpliciori quidem modo est consequutus. Nosmet ipsi hucusque eandem rem non nisi via indirecta reperimus, quippe qui bacillum ferreum in situ aequatoriali inter armaturas lamellis cupreis vestitas poneremus et vim, qua acus bismuthea inter polos super illum oscillans dirigeretur, sextuplicem esse factam observaremus.*)

Itaque quemadmodum magnetis polus in fine propiori bacilli ferrei polum excitat amicum, idem contrario modo in fine propiori bacilli bismuthei inimicum provocat, aut, quod eodem tendit, gyri, quos Ampère in ferro magnetis polo excitatos supposuit, directione fluunt opposita ei quam in bismutho persequuntur.

V.

De magnetismi et diamagnetismi variorum corporum metiendi methodo.

Postquam patuit, cuncta corpora et solida et liquida magnete aut adtrahi aut repelli, expetenda mihi visa est methodus, qua adtractionis et repulsionis quantitates substantiarum variarum inter se comparare et metiri valeremus, ut quemadmodum de pondere specifico aut calore cuiusdam corporis ita et de *magnetismo et diamagnetismo specifico* loqui liceret, et sic nova in res physicas notio introduceretur. Qualem methodum invenimus hisce cogitationibus theoricis, experimentis si opus erat confirmatis, conducti. Intensitas vis, qua magnes substantiam adtrahit aut repellit in uno eodemque volumine aequaliter distributam

*) Vide comm. novissime citatam, Ann. Pogg. LXXIII, p. 614. [Vergl. auch Anmerkung 1 zu Abhandl. 6.]

(e. gr. in horologii vitro lamella vitrea polita obtecto) atque uno semper eodemque modo ad magnetis polos sitam, proportionalis est huius substantiae massae ideoque etiam ponderi. Unde magnetismum aut diamagnetismum substantiarum variarum, quarum, in uno eodemque volumine distributarum, adtractiones aut repulsiones uno in magnete definiantur, eandem habere rationem sequitur ac fractiones, quarum nominatores intensitates adtractionis aut repulsionis, denominatores autem pondera repraesentant.*)

Magnetismum ferri = 100000 ponere solemus; tum, ut dicta exemplis illustremus, lapidis magnetici = 40227 atque ferri oxydati, quod *Eisenglanz* vocatur, = 533 sumendus est.

Neque minus denique *intensitatem ipsarum atomorum magnetismi* definire possumus, massarum videlicet in locum atomorum numerum substituentes. Ferrei atomi magnetismum = 100000 ponentibus nobis, observationes pro lapide magnetico numerum 166656 atque pro ferro oxydato 1522 dedere.**)

Restat, ut de singulis rebus mentionem faciamus in magnetismo specifico determinando considerandis. Quam subtilissimi pulveris ferrei partem unam adiecimus XXV partibus adipis suilli et in massam commiscuimus aequalem, qua horologii vitrum cautissime complevimus. E totius massae inclusae pondere calculare poteramus, quantum ferri vitro contineretur (designetur haec quantitas littera P). Vitrum impletum quo modo iam supra explicavimus staterae brachio suspensum est ita, ut in aequilibrio esset utque medias partes armaturarum semicirculares unico puncto tangeret. Horologii vitro armaturis magnetica vi imbutis adtracto, alteri lanci leve vasculum (papyraceum e. gr.) imposuimus eique arcto ex orificio pulverem subtilem infudimus, donec vitrum armaturas relinqueret. Pondus vasculi una cum pulveris (M) adtractionem metiebatur definiendam, ideoque numerus $M:P$ magnetismum substantiae, quae erat magnetis adhibiti intensitas, repraesentabat. Paulo post et quam celerrime fieri poterat neque amplius quam magnetis intensitas una eademque manebat***), easdem repetivimus

*) Postea cl. Delesse quattuor Academiae francogallicae obtulit dissertationes de intensitate magnetismi variorum corporum (*Comptes rendus XXVII, XXVIII)*, in quibus hoc aliud principium posuit *„Si l'on présente l'extrémité inférieure d'un barreau aimanté à des substances réduites en poudre d'égale grosseur, les poids de ces substances, qui resteront adhérents .... représenteront ce qu'on peut appeler le pouvoir magnétique de ces substances* (XLVIII p. 35)." Quod minus nobis videtur exactum.

**) Ann. Pogg. LXXIV. „Ueber Intensitätsbestimmung der magnetischen und diamagnetischen Kräfte." 1. Juli, 1848. [Abhandlung Nr. 7, S. 93.]

***) Quod ut cognosceremus sequuti sumus methodum novam a cl. vom Kolke

ponderationes, postquam in adipis locum substantias examinandas substituimus, liquidas quidem directe vitro infusas, solidas in quam subtilissimum pulverem contritas aut integras, si minus magneticae erant, aut, si plus, certis rationibus cum adipe commistas. Qui agendi modus pro unaquaque substantia quotum $m:p$ praestat, praecedenti $M:P$ correspondentem, e quibus prodit quotus novus $\frac{m}{p}:\frac{M}{P}$ de intensitate magnetis non pendens. Loco novissime citato numeros magnetismi specifici variorum corporum in tabulam composuimus.

Ad intensitates diamagnetismi variarum substantiarum, aut liquidarum aut in pulverem pistarum, inter se comparandas, vitrum illis impletum, magnetismo iam provocato, in aequilibrium redigere soliti sumus. Gyro interrupto, pondus quo opus erat ad detrahendum vitrum, integra gravitatis vi polis adpressum, modo supra relato determinavimus; quod pondus quantitatem metiebatur diamagneticae repulsionis. Quum apud haecce corpora, tum apud non ita magnetica ipsius vitri adtractio aut repulsio haud negligenda est.

Etiam variorum corporum diamagnetismi specifici numeros tabulae inseruimus, quam etiam magis extendissemus, nisi de substantiarum puritate dubitassemus. Aliquot exempla uti proferamus, invenimus esse diamagnetismum*)

aquae	100	1
phosphoris	100	
acidi sulfocarbonici	102	
acidi muriatici	102	
aetheris sulfurici	127	5/4
olei terebynthini	123	
florum sulfuris	[71]	3/4
natri muriatici	[79]	
acidi nitrici	48	1/2
bismuthi nitrici basici**)	[35]	1/3
acidi sulfurici	34	
hydrargyri	23	1/4

Num illorum numerorum rationes simplices margine adnotatae casu, an certa e causa prodierint, integrum relinquimus.

expositum in dissertatione „de nova magnetismi intensitatem metiendi methodo. Bonnae, MDCCCXLVIII."

*) [Die eingeklammerten Zahlen sind unrichtig; vergl. S. 96 und Anm. 5 zu Abhandl. 7.]

**) [In der früheren Mittheilung in Pogg. Ann. Bd. 74 (Abhandl. 7, S. 95—96) als *Wismuthoxyd* bezeichnet.]

Ponderationibus postea instituendis discernere nobis propositum est, num, quod quidem statuimus, magnetismus et diamagnetismus specificus pro qualibet magnetis intensitate idem maneat, ita ut, si corporum pure magneticorum alterum post alterum in vitro positum e. gr. duplici vi adtrahatur, haec ratio, gyro maiori aut minori vi adhibito, minime mutetur. Attamen, quomodocunque res se habet, quae paragrapho praecedente retulimus, perspicuum faciunt, relationem diamagnetismi et magnetismi duorum corporum, e. gr. bismuthi et ferri, de magnetis intensitate pendere, unde illos ipsos alterum alterius functiones esse tibi elucebit, neque minus clare intelliges, has ipsas functiones graphice repraesentari et hoc modo in formam redigi posse mathematicam.

Principium, quo considerationes nobis factae nituntur, modificere oportet, si substantiarum magnetismus valde est magnus et si illae ipsae integrae (non contritae aut dilutae) examini subiiciuntur. En exemplum: in vitro deinceps posita sunt primum ferri massa ita formata ut vitri cavitatem accurate ubique tangeret, tum scobes ferreae, denique mixtura supra iam dicta ferrei pulveris et adipis, et pro singulis casibus unius grammatis ferri adtractionem aequam reperimus grammatibus respective

27,00 30,32 33,28.

Tota igitur adtractio magnetismo specifico correspondens (33,28) eo est debilitata, quod ipsum vitrum una cum corpore contento magnetem constituebat, cuius polus borealis supra australem magnetis, australis supra borealem erat positus. Atque vice versa adtractio tota augebitur, si vitrum unico solum polo imposueris. Neque te fuget, hocce modo magnetismum specificum lucem adferre cognitioni nostrae de magnetum statu interiori.

Etiam quum substantia liquida polis sit imposita, cuius magnetismi distributionem cognoscere cupis, libra uti tibi licet; corpus liquido immersum illa est suspendendum.

VI.

De nexu qui est inter calorem et magnetismum aut diamagnetismum.

Usque ad novissimum tempus, calor magnetismum omnino delere creditus est; at cl. Faraday, etiam ferrum candescens, quamquam minus, magneticum esse, docuit, veri autem simile censuit, nihilominus calore crescente magnetismum abire in diamagnetismum. Hae erant res, quum susciperemus, non solum problemata illa solvere, sed etiam,

praecedente paragrapho descriptis methodis adhibendis, quantus esset magnetismus et diamagnetismus variarum substantiarum variis in temperaturis, definire et metiri. Post experimenta primo minus perfecte composita, hanc denique viam sequuti sumus.

Patellae porcellanicae, horologii vitri loco librae adplicatae, substantiam examinandam imposuimus, aut per se liquidam aut in pulverem contritam, atque mediam in eam globulum introduximus thermometri, cuius scala usque ad 350 gradus centesimales indicabat. Patella in aequilibrium redacta, flamma admota, quam maxime licebat, calefaciebatur atque, gyro clauso manente, substantia gradatim frigescente quam frequentissimas ponderationes fecimus, ut aut adtractionem magneticam aut repulsionem diamagneticam definiremus; simul unaquaque in ponderatione temperaturam observavimus. Corpora nimis magnetica, aut lamellaria facta et medio foramine ad immittendum thermometri globulum instructa, aut in pulverem contrita et duobus micae foliolis inclusa, media in arena patellam implente collocavimus.

Huiuscemodi pro nicelo lineam curvam invenimus, qui typus omnium corporum magneticorum nobis videtur. Quae linea, cuius abscissae temperaturis correspondent et ordinatae magnetismi specifici quantitates repraesentant, inde a 0^0 magis magisque abscissarum axi accedens, ad 300. gradum, ubi lapsus maxime proclivis, puncto inflectionis praedita est, indeque axem nullibi secans, ut asymptotam, comitatur. In suspenso relinquimus, utrum curvae pars superior retrorsum prolongata asymptotam habeat, an sit natura parabolica. Etiam ferro et ferro oxydato correspondentes dedimus curvas, quarum puncta inflectionis in temperaturas superiores incidere videntur; insuper eandem curvam pro mangano oxydato-oxydulato ($MnO + Mn_2O_3$) delineatam communicavimus. [Fig. 15, S. 124.]

Quod ad corpora spectat diamagnetica, pro bismutho curvam reperimus, quae ad 250. gradum i. e. ad eam temperaturam, qua illud metallum liquefieri incipit, puncto instructa est inflectionis, unde subito ad axem abscissarum descendit eumque sequitur. (Bismuthum circum thermometri globulum, primo liquescens, inter ponderationes factum est solidum. Thermometri globulo circumdata erat capsella e cupro confecta, quae illum tueretur et cui quaedam hydrargyri guttae erant infusae.)

Fortasse putas, diamagnetismum eo rapidius decrescere, quod status partium minimarum aggregationis fiat alter; attamen sulfuris repulsio diamagnetica, quae erat 0,240 grammatis, non mutabatur parte 0,005. grammatis inter temperaturam ordinariam et quae erat longe superior, quam qua liquefieri solet. Hydrargyrum purum inter 0. et 300. gra-

dum nullam ostendit variationem. Quis scit, annon nihilo secius hisce substantiis curvae correspondeant, nonnisi altissima temperatura aut infima a linea recta diversae?*)

VII.

De relatione quae est inter magnetismum et diamagnetismum corporum atque eorundem compositionem chemicam.

Doctrina magnetismi specifici, cuius fundamenta in paragrapho V. iecimus, novam praebet methodum cognoscendi, utrum corpus e pluribus constans elementis compositio sit chemica, an nihil nisi agglomeratio mechanica. Quod quidem si evenit, corporis magnetismus apparet, qualis et quantus e summa magnetismi intensitatum singulorum elementorum prodit, in qua formanda ne diamagnetismum ut magnetismum negativum calculo introducere negligas. Longe aliter vero res se habet, si compositionem respicis vere chemicam, in qua minime in universum licet concludere de statu partium magnetismi in eundem totius corporis.

Plurimas observationes magni momenti e ponderationibus a nobis factis deduximus, quae illis rebus lucem admovent, quarumque nonnullas sequentibus tecum communicabimus.

Ferrum eo facto, quod ipsi oxygenium ad oxydum formandum accessit, magnetismum ad fractiunculam usque omisit. De ferri oxydulati magnetismo hucusque nihil certi constat. Magnes lapis compositio est chemica ferri oxydati et oxydulati ($FeO + Fe_2O_3$). Namque si eiusdem magnetismi quantitatem deducere velles e ferri oxydulati, huic magnetismum adscriberes, necesse esset, longe eum, qui ipsi est ferro, superantem. Omnia ferri oxyda, quae natura procreantur et in officinis chemicis fabricantur, ferrum continent oxydulatum, maximeque veri est simile, agglomerationes esse puri oxydi et compositionis e ferro oxydato et oxydulato constantis. Quae videndi ratio si est vera et recta (neque quidquam, quominus experimento examinetur, impedit), sola ponderatione elementorum pondera tam secure et tam accurate definire poteris, quam chemica analysis non valet. Quodsi corpori insunt x partes pro centum ferri oxydati et y ferri oxydati cum oxydulati, ad inveniendas quantitates x et y hasce formulas dedimus:

*) Ann. Pogg. LXXV. „Ueber das Gesetz, nach welchem der Diamagnetismus und Magnetismus von der Temperatur abhängig ist.“ 25. Juli, 1848. [Abhandlung 10.]

$$x + y = 100$$
$$1{,}34 \,.\, x + 402{,}27 \,.\, y = M,$$

in quibus M corporis examinandi magnetismum specificum, ponderatione definitum, significat. Si $y = 0$, invenies $M = 134$, qui est oxydi magnetismus, dummodo haematites (*Rotheisenstein*) a nobis perquisitus, qui inter ferri oxyda minimum dedit magnetismum, nihil sit nisi purum ferrum oxydatum. Determinationes modo dictae, variis conditionibus a nobis factae, primo 134, tum 133,5 praebuere.

Eaedem illae formulae, si pars una pro centum lapidis magnetici, id est $\frac{1}{3}$ ferri oxydulati, compositioni inest, $M = 535$ dant, quem eundem numerum magnetismi specifici invenimus illius haematitis speciei, cui nomen est *Eisenglanz*. Aegre tantum chemica analysis illud revelare possit; nostra methodo contra non solum $\frac{1}{3}\%$, verum etiam $\frac{1}{100}\%$ ferri oxydulati, imo maxime secure, invenire valemus.

Si ad formandum sal oxydo acidum accedit, oxydi magnetismus, etiamsi acidum est diamagneticum, non debilitatur. Salis magnetismus augetur, si aqua dissolvitur. Sulfatis ferrici solidi magnetismus ad dissoluti est ut 78 : 126. Salium ferricorum dissolutorum magnetismi quantitatum, quoad acidum nitricum aut sulfuricum aut muriaticum continent, rationes sunt 287 : 332 : 516, dum eorundem acidorum diamagnetismi sunt ut 48 : 34 : 102. Ferri sulfurici oxydati magnetismus ad oxydulati est ut numeri 133 et 219. Contra vero in salibus haloïdibus a nobis examinatis maximum habet magnetismum, cuius basis est oxydum. Si nicelus oxydulatus, ad formandum hydratum, aquam adsumpsit, magnetismus auctus est ratione 1 : 4; quam rem miram vario modo comprobavimus.

Sesquiferrocyanas kalicus (ruber) magneticus est, ferrocyanas (fulvus) vero diamagneticus, etsi circa 12% ferri continet; quae quum ita sint, quod sanguis diamagneticus est, non mirabere.*)

VIII.

De nova magnetismi actione, quae ad relationem eius et luminis pertinet.

Iam ad novam nos convertamus phaenomenorum seriem longe dignissimorum, quae memorentur; exponamus illa, alterum alteri, quo ordine detecta sunt, adserentes. Rara illa res, quod fragmenta corporum organis instructorum nunc quasi magnetica, nunc uti diamagnetica dirigerentur, antequam expositionem paragrapho IV. datam reperimus,

---

*) Vide comment. § V. citatam.

nos commovit ad pervestigandum, num directio fibrarum corporum organicorum alicuius esset momenti; tum analogiam sequentes problema nobis proposuimus, num in crystallis structura, partium minimarum iuxtapositio, de qua axium opticorum situm dependere haud ignoras, esset spectanda. Primam lamellam e turmalino esectam, qualis ad lumen polarisandum adhiberi solet, cuiusque lateri longiori axis opticus erat parallelus, fausta fortuna elegimus. Lamellam ob ferrum contentum maxime esse magneticam, ex eo patebat, quod polo de longiori adtraheretur. Inter armaturas, conicis acuminibus instructas, filo bombyceo suspensa est triplici modo; primo scilicet ut longius, tum ut minus latus esset verticale, denique ut horizontaliter oscillandi ei daretur potestas. Primo modo suspensa ut corpus directa est magneticum, duobus alteris contra modis, quae res mira te non fugiet, ut diamagneticum, hoc est, ut directio longior situm peteret et obtineret aequatorialem. Unde rem non aliter hisce duobus in casibus se habuisse intelliges, ac si turmalini axis opticus repelleretur; quod primo casu eam ob causam fieri non potuit, quod ille rotationis axi parallelus erat, ideoque circa hunc omnia symmetrice erant disposita; atque, quod minimum negligendum est, illa repulsio ob lamellae formam dum demum apparere potuit, quum vim magneticam, quae lamellam contrarium in situm compellere tendebat, superare valuisset. Substituimus inde illi lamellae alia turmalini prismata, variis locis collecta, et pellucida et opaca; omnia, limpidis et non coloratis exceptis, magnetica erant ideoque, inter polos suspensa, directa sunt, ut prismatum axes, quorum erat dimensio longe maxima, cum linea conciderent polos coniungente. Polis autem altero ab altero remotis, aut, quod eodem, crystallis filo curtato in altum evectis, continuo 90 gradibus detorta atque materiae magnetismo superato ut corpora diamagnetica directa sunt, donec axes optici in lineam axialem essent perpendiculares. Crystalli limpidi hunc eundem locum semper tenuere. Quum turmalini, si calefiunt, electricam ostendant polaritatem, crederes fortasse, hanc aliquanti illis in phaenomenis fuisse momenti. Quod ut dirimeremus, fecimus, ut crystallus in aqua oscillaret; quumque hoc in casu eodem modo sese haberet ac supra indicavimus, illam coniecturam non esse veram concludas necesse est.

Unde igitur nobis persuasum est, phaenomena a nobis observata omnino esse nova; qua re commoti complures alios crystallos perquisivimus et primum quidem spathum calcarium, ut crystallum, cuius massa esset diamagnetica, haberemus. Lamellam adhibuimus, cuius superficies axi optico erant perpendiculares, quaeque, lumine polarisato adhibito, notissimas illas curvas isochromaticas ostendebat. Lamellae

axis ob massae diamagnetismum, polis propinquis, situm petivit axialem, polis vero remotis aequatorialem, quasi magnetica esset facta. Rhomboëdrum spathi calcarii, quale natura produxit, nunquam non ita directum est, ut axis òpticus, forma optime indicatus, planum peteret lineae polos coniungenti perpendiculare, cui nomen dedimus aequatoriali. Attamen si axis fortuito perpendicularis erat, corpus directum est ut diamagneticum. Eadem ac illi duo crystalli phaenomena exhibent beryllus, dioptasus, vesuvianus, qui omnes sunt magnetici et, quod omittere nolis, una cum turmalino et spatho calcario negativam ostendunt refractionem duplicem. Unde hasce deducimus leges:

Crystallus disdiaclasticus uniaxis et negativus, inter magnetis polos suspensus, dirigitur, quasi axis opticus utroque eorum repelleretur. Vis, quae illud efficit, si polos removes, tardius debilitatur, quam qua massa aut attrahitur aut repellitur.

Hinc coniiciendum erat, etiam crystallos biaxes proprio modo magnete affici; perquirendum autem erat, utrum ipsi axes, an sola linea media, id est eorum angulum acutum bipartiens, illa vi sollicitarentur. Quod ut in planum proveheremus, foliolum micae horizontale suspendimus, ita igitur, ut lineae mediae directio cum fili bombycei concideret. Foliolum ita directum est, ut amborum axium planum aequatoriale fieret, id est quasi uterque axis repelleretur. Quam rem eo comprobavimus, ut, lumine polarisato adhibito, annulorum systemata viderentur. At mica negativus est crystallus; atque ut mica plurimi alii crystalli, quorum refractioni duplici eadem est natura, se habuere, unde concludimus:

Axes crystallorum biaxium et negativorum polis aequa vi repelluntur.

Situ observato, quem quarzius et topazius inter polos interdum minus distincte et incerte ob corpora aliena illis adhaerentia (nihil opus est ad magnetismum in quarzio provocandum, quam ut lima collinas aut chalybe percutias) petiverunt, incautius illas leges omnes in crystallos extendimus, et positivos et negativos. Quae invenissemus prima commentatione communicavimus.*)

Huiuscemodi res se habuere, quum cl. Faraday alia phaenomena illis non ita aliena detegeret et duabus commentationibus societati regiae britannicae oblatis descripsit. Ingeniosus ille vir compluribus in crystallis in lineam plano principalis fissilitatis perpendicularem (magnecrystallicam ab illo nominatam) polis magnetis non solum non repelli verum attrahi reperit; tum adtractionem illam quemadmodum nos in

*) Ann. Pogg. LXXII. „Ueber die Abstossung der optischen Axen der Krystalle durch die Pole der Magnete.“ 25. Juli, 1847. [Abhandlung 2.]

repulsione axium opticorum invenimus, dirigere solum neque centrum gravitatis demovere; denique vim dirigentem esse nullam, si axis magnecrystallicus esset verticalis. Quae quum auctor nobiscum communicasset, qui fieri potuisset, quin nobis in mentem veniret axes opticos esse, qui in illis corporibus non repellerentur sed adtraherentur? Quod quidem illico publicavimus.*) Primo phaenomena tam similia erant a nobis observatis, tum omnibus in crystallis uniaxibus axis magnecrystallicus cum crystallographico principali concidit; accedit, quod tot corporum ad systema tesserale pertinentium nullus, etsi fissilis, illud demonstret. Nostrae autem sentiendi rationi obviam erant cum quarzio et topazio a nobis facta experimenta atque, quod nihil apparuit, si directio magnecrystallica esset perpendicularis. In corporum numero, quae phaenomenon, de quo agitur, maxime distincte exhibent, cl. Faraday memorat bismuthum, stibium, arsenium, sulfates nicelicum et ferricum. Metallorum illorum crystalli rhomboëdrorum habent formam ideoque ut uniaxia censeri queunt. Quibus in examinandis bismuthum et arsenium a cl. Faraday detectum phaenomenon valde clare monstrare reperimus. Prisma e bismutho crystallisato esectum, cuius axis longitudinalis illius plano fissilitatis erat perpendicularis, vehementer contra massae diamagnetismum axialiter directum est, quasi magneticum esset corpus. Arsenium magneticum erat; eiusdem metalli lamella tenuis, cuius superficies simul fissilitatis parallelae erant, aequatorialem situm petebat, ut substantia diamagnetica. Stibium autem a nobis perquisitum phaenomenon ostendit omnino contrarium a cl. Faraday descripto. Subtilis antimonii lamella eodem ac arsenii modo confecta, quamquam diamagnetica, ut substantia dirigebatur magnetica: fissilitatis scilicet planum axiale est factum. Quid igitur impedivit, quominus stibium ut exemplum legi a nobis prolatae subsumendum vindicaremur, quidque fuit, quod non contrariam in partem axes opticos bismuthi et arsenii et in universum omnium positivorum crystallorum adtrahi poneremus? Quam rem etiam sulfatis nicelici rationes comprobare videntur; sed huius substantiae crystallos idoneos adipisci nequivimus. Sola experimenta de sulfate ferrico facta nostrae sententiae contradixerunt. Hisce de phaenomenis aliquantulo temporis iis, quae paragrapho XI. descripsimus, detracti sumus, donec, ut systematicum agendi ordinem sequeremur, ad ea redivimus.

Hucusque inprimis elegeramus e numero crystallorum biaxium, quorum formae crystallinae prismata sunt rhombica recta. Axes opticos

*) Ann. Pogg. LXXVI. „Ueber die neue Wirkung des Magneten auf einige Krystalle, die eine vorherrschende Spaltungsfläche besitzen. Einfluss des Magnetismus auf Krystallbildung.“ 27. März, 1849. [Abhandlung 12.]

continens planum duobus trium axium crystallographicorum (prismatis axis longitudinalis et diagonalium baseos) definiri, et lineam mediam cum uno aut altero illorum congruere, haud ignoras. Qualis crystallus, ita suspensus, ut unus crystallographicorum axium sit verticalis, nova magnetismi actione semper dirigitur, ut reliquorum axium alter aequatorialem, alter axialem petat situm. Neque tamen haec rerum est ratio in prismate rhombico obliquo, cuius axi linea media plerumque neque perpendicularis neque parallela est. Iam theoricae considerationes nobis persuasere fore, ut, si talis prismatis horizontalis suspensi utrumque axem poli aeque repellant, linea media semper in planum aequatorialem se converteret. Quare conducti hancce proposuimus formulam:

$$\operatorname{tang} \varphi = \cos \psi \operatorname{tang} \lambda,$$

in qua λ angulum repraesentat constantem prismatis axe et linea media inclusum, φ angulum eodem illo et linea aequatoriali horizontalique formatum, ψ angulum, quo crystallus circum axem suum est tortus, quem angulum ψ ita numerabis, ut ab altero crystalli situ exeas, quo linea media est horizontalis, atque inde ad 360^0 progrediare. Formula docet necesse esse, crystallus, si eandem in directionem circum axem suum torqueri pergat, iterum atque iterum novum capiat situm; certa quadam positione, angulo $\psi = 90^0$ correspondente, crystallum aequatorialem dirigi eumque, quaecunque fuerit positio primaria, angulo 180^0 tortum, alterutra lineae aequatorialis parte cum illa angulos includere aequales, valorem denique maximum anguli φ aequalem esse λ.

Primum crystallum cyanitis elegimus, sed, quod exspectaveramus, non evenit, imo res se habuit quasi situi axiali aequatorialem substituisses, id est quasi linea media adtraheretur, non repelleretur: at cyanites est crystallus positivus. Cyanitem sequutus est augites. Diopsidum autem, quod natura est negativa, cuique forma erat, quae axium opticorum situm luminis polarisati ope cognosci permitteret, formulae legi obedivit. Quis igitur in dubium vocare potuit, lineam, quoad crystallus esset positivus aut negativus, polis respective adtrahi aut repelli? Nihilosecius contradictiones restabant solvendae, prosternendae, inprimis in quarzio obviam factae. Qua re commoti non lamellam amplius adhibuimus quarzii crystallo esectam, quam situm aequatorialem relicturam et axialem capturam antea exspectaveramus, verum prisma originariis faciebus limitatum, quod, ob diamagnetismum suum, primo aequatorialiter dirigebatur, filo vero involuto, nunc vidimus re vera in situm abire axialem. Quod uti tibi eveniat, ne prismatis longitudinem duplicem facias latitudinis, caveas. Item alios perquisivimus crystallos, inter quos imprimis scapolithus (ad Pargasum reperta) et troostites

phaenomena illa maxime distincte ostendebant, ante omnes vero oxydum stanni (*Zinnstein*). Itaque quam legem primo protulimus, angustior est, eique substituenda est haec.

Uterque magnetis polus axem opticum crystalli cuiusdam uniaxis aut adtrahit aut repellit, quoad est aut positivus aut negativus.

Examinavimus inde accuratius crystallos positivos biaxes, prima quidem topazii prismata horizontalia, quae etiamsi diamagnetica, polis remotis axialem petebant situm. Quibus in crystallis linea media cum axe prismatis concidebat. Lamella gypsi in monte Montmartre inventi, horizontalis suspensa, ita directa est, ut quum postea perquisita esset, linea axialis cum linea media concidisse pateret. Ambo haec experimenta lineam mediam adtrahi demonstrant. Quodsi lamella modo dicta ita suspensa est, ut linea media sit perpendicularis, planum axes opticos continens axialem petit situm. Simili modo si illa topazii prismata verticalia suspenderis, ita dirigentur, ut planum axium, quod diagonalem minorem continet, fiat axiale; quod idem aliis in crystallis evenit positivis.

Sed iam locus nobis esse videtur de sulfate ferrico, summa cura nobis examinato, loquendi. Primum nobis in mentem venit perquirere, annon phaenomena a cl. Faraday descripta et ab eo in lineam planis fissilitatis perpendicularem relata, potius ad lineam mediam reducenda essent, quae quidem cum illo angulum circa 15^0 format. Quare commoti crystallo pulcherrimo esecuimus fragmentum planis fissilitatis limitatum. Planum axium opticorum iam antea luminis polarisati ope definiveramus, sicut et lineam, qua hoc planum sibi perpendiculare fissilitatis secat. Si crystallus quomodo vis suspensus erat, hoc tantum observato, ut illae superficies verticales oscillarent, semper actio apparuit maxime distincta; linea vero lamellae superficiebus perpendicularis tum modo accurate axialis dirigebatur, quum linea notata esset verticalis, ideoque linea media circa axem oscillaret verticalem. Sin autem illa linea erat horizontalis, perpendiculum, in planum fissilitatis demissum, declinatum erat circa 15^0 unam aut alteram partem versus. Atque omnino res se habuit, ut formula supra relata praescribit, angulo λ valore 15^0 adscripto et angulo φ a situ axiali numerato.

Experimentis modo descriptis hanc deduximus legem universalem:

In crystallis biaxibus linea media aut adtrahitur aut repellitur, quam actionem in universum explicare poteris, si utrumque axem opticum aequa vi in crystallis positivis adtrahi, in negativis repelli pones.

Quae propositio discutienda subtilissima nobis videtur fere omnium in rebus physicis obviam factarum, atque multum adhuc abest, ut omnes difficultates victae, complanatae sint.

Potesne enim vim tibi fingere quae, e polis magnetis emanans,

longius turmalini prisma ita dirigat, *ut fines prismatis eosdem polos fugant, qui massam eorum adtrahant?* Quam rem paradoxam neque cl. Faraday nec nosmet ipsi, quamcunque pervestigandi viam sequuti, explicare valuimus. Novissime modo e magno sulfatis ferrici crystallo cubum esecuimus, cuius acies 11^{mm} longae erant cuiusque superficierum par unum plano fissilitatis parallelum, altera eidem erant perpendicularia. Quaecunque autem superficies armaturis, invicem adpropinquatis, imponebantur, nihil omnino discriminis reperimus inter variarum attractionum quantitates; haecce fere erant 5,4 grammatum.

Neque re vera esse, cur crystalli biaxes negativi opponantur positivis, optime scis; indicat enim illa distributio nil nisi, quod minimus aetheris elasticitatis axis, qua de re Fresnel mire et pellucide disseruit, quoad crystallus sit positivus aut negativus, acutos aut obtusos axibus opticis inclusos angulos bipartitur. Crystallus igitur, in quo axes optici alter alteri sunt perpendiculares, qualis est sulfas ferricus, neque positivus nec negativus ullo iure dici potest; in limitibus potius stat inter positivos et negativos; in eo lineae, quae angulos axium opticorum bipartuntur, geometrice distingui nequeunt. Sed etiam nunc altera maximae altera minimae correspondet elasticitati. Evenit hoc si, axibus maximae, mediae, minimae aetheris elasticitatis litteris c, b, a designatis,

$$2b^2 = a^2 + c^2.$$

Tali crystallo ita suspenso, ut axes horizontales oscillarent, duo tantum observati sunt situs oppositi aeque stabilis aequilibrii, attamen necessarie quattuor exstitissent, si ex attractione aut repulsione axium opticorum illas positiones deducere velles. Sulfas igitur ferricus et unicus quidem est inter omnes nobis examinatos crystallos, qui legi novissime prolatae non obedit.

Reiecta aliquamdiu hypothesi a nobis de actione magnetis in axes opticos posita (namque si *invenire* velis, ne anxius interpretationem iam a te inventa explicantem retineas, vide) nobis problema proposuimus annon, pro illa hypothesi, phaenomena explicari possent e *sola aetheris in crystallis distributione* a Fresnel exposita. Etenim illa linea media in crystallis positivis, in quibus adtrahitur, minimae, atque in negativis, in quibus repellitur, maximae elasticitatis est axis. Corpus fingamus inter polos ita suspensum, ut circum gravitatis centrum ei libere rotandi data sit facultas, atque circum idem centrum notam illam ellipsoïdicam superficiem descriptam, cuius radii vectores elasticitatum quadratis sunt aequi. Nonne, fortasse quaeris, tale corpus ita dirigitur, ut minimus ellipsoïdis axis cum linea concidat polos coniungente? Nonne, si circum verticalem tantum axem torqueri potest, eum situm

petit, quo elasticitatis minoris directiones ante ceteras polis adversae sunt? Quae si ita essent, omnia, quae supra retulimus phaenomena in crystallis exhibita, et positivis et negativis, ita suspensis, ut circum lineam rotare possint axium opticorum plano perpendicularem, explicarentur, neque exciperentur in sulfate ferrico observata. Poni porro posset, directiones, quibus elasticitas sit certam quantitatem superans, repelli, quibusque minor sit elasticitas, adtrahi. Attamen ferrum sulfuricum ita suspensum, ut linea media minimae elasticitatis sit verticalis, nullo omnino modo dirigi saepius et accuratissime observavimus; attamen eum, secundum formulam modo datam directum iri, exspectes, necesse, quum alteri elasticitatis axes sint inaequales. Alii crystalli omnino hypothesi contrario modo se habuere. Itaque haec hypothesis est relinquenda.

Quo modo enim phaenomena explicare vis? Non displiceret nobis ponere, in aethere gyros Ampèreicos inductione, una aut altera directione, circum axes facilius et validiores nasci, aut quod idem, *crystallum inductione magneticum factum, polos secundum axium opticorum directionem adipisci:* nisi haec nova videndi ratio etiam adtractionem aut repulsionem massae posceret, solo axium situ mutatam. Quae actio diversa *non* observatur. Neve tamen sperare desinamus fore, ut veram horum phaenomenorum expositionem aliquando inveniamus, atque plures adhuc crystallos examinemus, maiorique cum cura eos perquiramus, qui validius illa actione afficiuntur.

Clarissimus Faraday splendidis a se inventis de plano polarisationis magnete rotato viam munivit ad novas res detegendas; namque illo facto iam constat, aetherem magnete affici, et, quod sane mirum videtur, in iis solis corporibus afficitur, quae singulari modo nec luminis naturam mutant nec magnete exercentur. Quod spectantes ad subtilem provocamur disquisitionem, qua discernamus, annon quarzius, qui secundum axis directionem lumini mirum illum polarisationis dat statum, proprio et singulari modo etiam magnete afficiatur.

IX.

De magnetismo adplicando in cognoscendis fossilibus, eorumque structura crystallina et natura optica.

Notissimum est, quomodo phaenomena fossilibus in lumine polarisato exhibita coniuncta sint cum eorum structura, atque hanc etiam, quum forma externa perierit, illis indicari. Idem magnetismi ope adipisci potes et restrictione quidem omissa, quod fossilia pellucida esse debent. Et hoc quidem auxilio determinationes structurae facil-

lime fiunt. Quae quum ita sint, introducendum est novum elementum in res mineralogicas. Quod respicientes, ad omnia corpora fossilia denuo examinanda provocamur, neque minus, si paragrapho sequente relata spectamus. Namque absurdum id corpus tantum magneticum dici intelliges, qui magnete fertur.

Quodsi corpus inter polos, quomodovis suspensum, non ita semper dirigitur, ut magnetica poscit attractio aut diamagnetica repulsio, id est, ut eius dimensio longior aut axialis fiat aut aequatorialis, secure concludere licet, re vera *neque amorphum esse, nec ad systema pertinere tesserale. Si corpori est axis crystallographicus principalis, qui idem est solus opticus, etiam si deformis tantum fragmenti tibi est potestas, illum axem duobus suspensionibus factis definire vales: simili modo, quo corporis centrum gravitatis determinas.* Negativo videlicet in corpore intersectionem nota, illius et planorum aequatorialium, quae duabus quibuslibet suspensionibus inveneris; linea, qua illa intersecantur, axis est opticus. Quod quidem facillime efficere poteris in spatho calcario et turmalino. Eidem methodo locus est in crystallis positivis, quorum idoneum exemplum memoramus oxydum stanni; solummodo plano aequatoriali axiale est substituendum.

Si prisma horizontale suspensum circum axem tortum diversa dirigitur energia, quod ex oscillationum numero cognoscere licet, quas, e situ depulsum aequilibrii, facit (sesquiferrocyanas kalicus), aut, si nunc axialis nunc aequatorialis dirigitur (staurolithus), *crystallus neque tetragonali nec hexagonali est adnumerandus systemati.* Si prisma circum axem tortum diverse, etiam oblique, tenetur, aut *est clinorhombicum aut clinorhomboïdicum.*

Si alicuius biaxis crystalli fragmentum bis quomodovis suspendebis, extemplo, ut antea axem unicum, nunc accipies *lineam mediam;* et si, ut haec linea sit verticalis, suspendebis, neque ignorabis, utrum crystallus sit positivus an negativus, *amborum axium planum invenies,* quod nunc axiale fit, nunc aequatoriale; ideoque, si insuper angulos axibus inclusos noveris, *ipsos habebis axes.* Ad cognoscendum autem, *utrum crystallus sit positivus an negativus*, nihil opus est nisi, ut quomodovis suspensum circum lineam torqueas horizontalem; namque prout haec linea, si eandem torquendi directionem conservas, per situm it axialem aut aequatorialem, ille aut positiva aut negativa est natura; atque accedit, quod anguli valor maximus respective axiali aut aequatoriali linea et ea, circum quam torques crystallum, formati, eius est anguli, quem modo dicta linea et axium media complectuntur.*)

---

*) Hic locus est ut agnoscamus, quantopere hisce in disquisitionibus nos

Coniicere te putamus, quomodo *crystalli geminati*, etiam quum alter alterum penetret, se habituri sint. Diopsidi crystalli oppido afficiuntur eamque ob causam maxime idonei sunt hisce experimentis instituendis. Etiam staurolithus opaca et geminata apta apparebit.

Breviorem gypsi crystallum, aqua contenta caloris vi demta, structura privavimus crystallina, atque, dum antea ob axes directos magneticus prodibat, nunc ob massam solam exercitam ut diamagneticus observatus est. Examinavimus denique *pinitis* crystallum, quem vario modo dissecuimus neque tamen unquam axes opticos indicari invenimus; qua causa moti, ni temere nobis videretur, crystallum destructum putaremus et id quidem eo magis, quod micae crystalli, quibus eadem ac illi sunt elementa, tanta vi magnete diriguntur.

Oxydum stanni quod, ut crystallus, tam clare illa phaenomena ostendit, nulla, ut *pseudomorphus*, exhibuit. Neque omnino in crystallis pseudomorphis quidquam tale licet exspectare.

Vitrum subito refrigeratum, quod exspectaveramus, propriam suam structuram magnete directum prodidit.*)

Neque omnino dubitamus fore, ut axium opticorum transpositionem in gypso, caloris vi effectam, magnes clarissime indicet.

X.

De polaritate permanente crystallis certas in directiones exhibita. De magnetismo terrestri crystallis directis indicato. De reactione crystallorum in magnetem.

Quum caeruleum *cyanitis* crystallum inter magnetis polos examinaremus, etiam gyro interrupto situm antea occupatum obstinate eum obtinere observavimus, immo tum etiam, quum longe de polis esset evectus; unde etiam tellurem eum directuram esse coniecimus. Optime quae exspectaveramus comprobata et confirmata sunt, quum eundem crystallum bombycis filo adligatum hamuli ope suspendissemus. *Est igitur crystallus vera acus magnetica; atque, quod accedit, cui praescribere potes, quod horizontis punctum indicet;* efficere exempli gratia potes, ut polum borealem geographicum spectet, ita ut diceres, declinationem esse nullam: nihil est opus, nisi ut crystallum in hamulo circum axem longitudinalem quanto oportet rotes. Quum polo boreali acus crystal-

adiuverit cl. Beer, vir peritissimus in rebus quae ad opticen crystallographicam pertinent. Conf. ipsius dissertationem „de situ axium opticorum in crystallis biaxibus.“ Bonnae, MDCCCXXXXVIII.

*) Poggend. Ann. LXXV. „Ueber das Verhalten des abgekühlten Glases zwischen den Magnetpolen.“ 10. Juli, 1848. [Werke II, Abhandlung 9.]

linae, quomodovis horizontaliter suspensae, cylindri magnetici (100^{mm} longe, 9^{mm} crassi) satis validi, qui terrae superet magnetismum, polum australem ita admoveremus, ut cylindrus semper esset horizontalis, sequuta est illa, ut angulus longiori crystalli et cylindri axibus inclusus ei esset aequus, quem ille axis crystalli cum linea meridiana magnetica formaverat.

Cyanitis crystallus eo etiam cum acu magnetica congruebat, quod ostendebat *polaritatem*, habebatque unum tantum aequilibrii situm. Quod novum nobis videtur momentum, cuius in diiudicanda natura novae magneticae actionis ratio sit habenda.

Utrum cyanitis crystallo proprietates illae iam de initio infuissent an valido demum magnete essent datae, discernere non poteramus. Cui admotus ille polaritatem quidem exhibuit sed, inter polorum acumina, invicem adpropinquata, revertit. Alteram vero polaritatem, quam cuius axis cum linea congruit media axium opticorum, crystallo impertire nequis. Alii cyanitis crystalli, quos examinavimus, magnetismo terrestri debiliter modo directi sunt, antequam magneti erant admoti, et polares adparuere. Quorum energia electromagnete est aucta. Nonne, quaerimus, iam de origine eos terra magnetica vi imbuit? Polaritasne eorum formae crystallinae rationibus definitur?

Etiam verticaliter suspensum cyanitis-crystallum terra direxit.

Eodem modo quo cyanites etiam *augites* se habuit.

Longe fortius quam crystalli enumerati *oxydum stanni* Zinnwaldense directum est, qui crystallus est uniaxis et positivus, cuiusque suspensi axem magnetismi terrestris ope secure determinare valebis. Qualis crystalli fragmentum, ea forma praeditum, ut dimensio longior axi optico sit perpendicularis, acum constituit magneticam, *cuius fines puncta indicant occidentale et orientale*, vel potius acus, qua vulgo utimur, directioni perpendicularem. Crystallus ob ferrum contentum magneticus erat; forsitan fieri possit, ut invenias, cuius massa magnetem non sequatur, neque eo minus magnetismo terrestri dirigatur. Illud oxydum stanni inter polos polaritatem non revertit, nec multo dirigendi vi auctum visum est, postquam magneti est admotum.*)

Simulac inveneramus magnete axes tanta vi dirigi, de *reactione* dubitare non poteramus. Frustra vero eam ex oscillationibus cognoscere suscepimus, quas parvulae magneticae acus supra bismuthum, spathum calcarium, turmalinum cetera suspensae faciebant; nullum observari poterat discrimen, si fragmenta illorum corporum ita posuera-

*) Alter huius fossilis crystallus (Schlackenwaldense), quem nuperrime perquisivimus, phaenomena illa non ostendebat.

mus, ut axium opticorum situs esset mutatus. At quum talem acum (fragmentum acus, qua sui solet) supra oxydi stanni crystalli planum, quod axem continebat, suspendissemus, actio, qua ille acum exercebat, maior erat quam qua tellus: *acus crystalli axem sequebatur.*

Phaenomena igitur praecedente paragrapho descripta ipsis, quos enumeravimus, inhaerent crystallis, neque omnino nova quadam inductione elicita adparent, illaque intermissa, disparent.*)

XI.

De magnetis actione in crystallis formandis.

Relatione detecta, quae est inter magnetismum et corporum structuram, ne momento quidem temporis dubitavimus fore, ut eadem illa vis in crystallos ageret formandos. Etenim quae vis totum crystallum dirigit, apperta est quae etiam moleculas *ita exercet, ut dum illae ad formandum crystallum iuxtaponantur, eum situm, si polos spectas, occupent, qui crystallo respondet iam formato et libere suspenso.* Ad quam rem confirmandam longe ante effeceramus, ut salia e solutionibus polis impositis crystallisarent; sed, quae erant conditiones, nihil memorabile nobis evenit. Inde quum cl. Faraday docuisset, bismuthum nova illa actione tanta vi inter polos dirigi, ad quas antea perceperamus ideas reversis, melius nobis res cessere. *Bismuthum inter fortis magnetis polos refrigescens talem adipiscitur structuram, ut planum fissilitatis principalis perpendiculare fiat in lineam polos coniungentem.* Quod ut apertum faceremus, fragmentum carbonis, cui fodinam infoderamus oblongam et rectangularem, deinceps ita inter polos collocavimus, ut longius latus primum esset axiale, tum aequatoriale, denique exacte notatum teneret situm obliquum. Liquefactum inde bismuthum et altiori quam qua liquefit temperatura calefactum illi fodinae infudimus; illud lente refriguit atque solidi facti planum fissilitatis situm tenuit supra notatum. Quod idem ex eo etiam patuit, *quod bismuthum inter polos suspensum semper eam habuit aequilibrii positionem, qua erat solidum factum.* Operae sane est pretium etiam plura talia experimenta instituere.**)

Nonne fortasse *magnetismus terrestris* aliquanti erat momenti in

---

*) Nihil hucusque nosmet ipsi publicavimus de iis, quae in hoc paragrapho, nec in paragraphis praecedentibus, de diversa actione in crystallos positivos et negativos indicavimus. Citandum autem est: On the Magnetic Relations of the Positive and Negative Optic Axes of Crystals. By Prof. Plücker of Bonn in a letter to, and communicated by, Dr. Faraday. 20th. of Mai 1849. (Philosphical Magazine. June. p. 450. Uebers. Pogg. Ann. 77, p. 447.) [Abhandlung 13.]

**) Vide comm. supra citatam. [Abhandlung 12, S. 141—148.]

formandis terrae visceribus inclusis crystallorum molibus? Namque quo illa vis minore est intensitate, eo lentius illi crystalli refriguere et solidi sunt facti.

Scripsimus Bonnae ineunte mense Iulio a. MDCCCXLIX.

Tabulae [I] expositio.

A. Electromagnetis suppositorium e robore fabricatum tribusque pedibus fultum; crassus est 10 centimetra ac diametrum habet 60 centimetrorum. Insertus ei est magnetis nucleus ferreus cylindricus formamque ferri equini referens, cuius quidem arcus in tabula non apparet, brachiorum vero mensae A perpendicularium fines (polos) littera C designavimus. Utrique brachiorum, inde a suppositorio $46\frac{1}{2}$ centimetra altorum, 102 millimetra crassorum axibusque 284 millimetris inter se distantium, circumvoluta sunt octo fila cuprea, 4,36 millimetra crassa, straturae unaquaeque e 90 spiris consistentes (B). (Primo utrumque brachium 4 tantum straturis erat instructum. Atque, quae res est sane memorabilis, tum armaturae polis impositae iam e longe maiori distantia altera alteram adtrahebant collidebantque quam nunc, quum spirarum numero adaucto utraque a suo polo fortiori vi retineantur.) Quaternae straturae ex uno eodemque filo sunt formatae, atque 4 filorum fines hinc illinc in singulas partes aereas columellarum (D), ligneis interpositis disiunctas, inserti cochlearum vi retinentur. Partes aereae filorum ope vario modo ad quem finem consequendum placet coniungi possunt, quae autem infimae sunt cum vasibus sunt adiunctae hydrargyro impletis, quod in liquidum gyrotropi (E) brachia immerguntur. Cuius quidem instrumenti constructione describenda supersedere non dubitamus, quum in vulgatissimo libro „Pouillet-Müller“ sit exposita et figuris illustrata.

F. Mensa quum alteros ad fines, tum ad ferendam Coulombii libram (G) destinata.

H. Armatura conis (a) instructa, quorum in locum partes acutiores et semiconicae (b) cochlearum ope inseri possunt.

I. Armatura maior canale longitudinali (c) excavata, ut adhiberi possit in repetendis experimentis a cl. Faraday de rotatione polarisationis plani factis. Huius armaturae parti semicirculari alterum laterum vasis aërothermometri figura K delineati exactissime potest applicari.

Figuris H, I et K mensuram adiecimus duobus centimetris correspondentem.

Praeter armaturas H et I adhibitae sunt in experimentis hac commentatione memoratis quibus parallelepipedi erat forma, quaeque longae erant 189, latae $67\frac{1}{2}$, altae 27 millimetra; tum coni, quorum altitudo 25 millimetra explebat, bases polorum superficiebus erant aequae; inde cylindri, 48 millimetra alti et quo diametro nucleus magnetis instructi, qui cylindri media altitudine canalibus horizontalibus perforati erant, quibusque cylindri tenuiores, 2 centimetra crassi et 13 centimetra longi et altero fine acuminati immitterentur; denique parallelepipedum rectangulare, cuius baseos quadraticae latus $6\frac{3}{4}$, longitudo $36\frac{1}{2}$ centimetra explebat, perforatum medio canale longitudinali.

16.

Ergebniss fortgesetzter Beobachtungen in Betreff des Verhaltens krystallisirter Substanzen gegen den Magnetismus.

(Aus einem Schreiben an den Herausgeber der Annalen, abgedruckt in Poggend. Annalen der Physik und Chemie, Bd. 78, S. 427—431, 1849.)

Da eine Uebersetzung meines Briefes, den Herr Faraday in dem *Philosophical Magasine* abdrucken liess, und in welchem ich demselben 1. das entgegengesetzte Verhalten der positiven und negativen Krystalle zwischen den Magnetpolen, und 2. die permanente Polarität des Cyanits nach einer der Axenwirkung entsprechenden Richtung, die so stark ist, dass derselbe schon durch die Erde bei verschiedener horizontaler Aufhängung nach verschiedenen Azimuten sich richtet, zuerst meldete, in den Annalen erschienen ist*), so wurde eine von mir beabsichtigte desfallsige Mittheilung für dieselben unnöthig, und das um so mehr, als ich eine allgemeine Uebersicht meiner sämmtlichen auf Magnetismus bezüglichen Beobachtungen in einer akademischen Gelegenheitsschrift**) zum 3. August d. J. bald nachfolgen liess. Als vorläufige Ergänzung theile ich die folgende Gruppirung verschiedener von mir näher untersuchter Krystalle in Beziehung auf ihr magnetisches Verhalten mit.

Negative einaxige Krystalle.

a) Magnetische:	b) Diamagnetische:
Turmalin,	Antimon,
Beryll,	Kalkspath.
Dioptas,	
Arsenikblei,	
Vesuvian.	

*) Annalen 77, S. 447. [Werke II, Abhandlung 13.]

**) [Werke II, Abhandlung 15.]

Positive einaxige Krystalle.

a) Magnetische:	b) Diamagnetische:
Arsen,	Wismuth,
Eisenvitriol*),	Quarz (schwach).
Zinnstein,	
Scapolith von Pargas,	
Troosit.	

Negative zweiaxige Krystalle.

a) Magnetische:	b) Diamagnetische:
Rothes Blutlaugensalz,	Antimonglanz,
Staurolith,	Arragonit,
Glimmer,	Salpeter.
Diopsid,	
Wolfram.	

Positive zweiaxige Krystalle.

a) Magnetische:	b) Diamagnetische:
Cyanit,	Kupferglanz,
Augit,	Bournonit,
Hornblende,	Glaubersalz,
Strahlstein.	Gyps,
	Topas.

Wie der zweiaxige *Cyanit* nach bestimmter Richtung magnetische Polarität hat und behält, stark genug, um durch den Erdmagnetismus sich zu richten, so auch *Augit* und der einaxige magnetische *Zinnstein*. *Eisenglanzkrystalle* von Elba verhalten sich in Beziehung auf Polarität eigenthümlich. Als ich durch die Bemerkung geleitet, dass die magnetische Axenwirkung mit dem Magnetismus der Masse in gleichem Maasse zuzunehmen scheint, einen solchen Krystall nahm, um ihn in Beziehung auf Axenwirkung zu prüfen, bemerkte Herr Dr. Beer zuerst, dass derselbe in allen Lagen, in welchen er einen Augenblick festgehalten wurde, in Ruhe blieb, wie auch seine Längen-

*) Ich rechne den Eisenvitriol hierher, weil er in magnetischer Beziehung sich ganz wie ein einaxiger positiver Krystall verhält, indem eine einzige Richtung, um die herum Alles symmetrisch ist, von den Polen angezogen wird. Diese Richtung fällt mit derjenigen zusammen, welche zwei der von den beiden auf einander senkrechten optischen Axen gebildeten Winkel halbirt und mit der Hauptspaltungsfläche einen Winkel von 75° macht. In optischer Beziehung bildet der Krystall die Grenze zwischen positiven und negativen.

dimension gegen die Linie der Pole gerichtet war. Ich halte bis jetzt noch diese Erscheinung für die Folge eines bestimmten Grades der magnetischen Coërcitivkraft und ich denke, dass man auch dem Stahle eine solche Härte geben kann, dass er ebenso sich verhält. Ein durch zwei Spaltungsflächen (senkrecht gegen die optische Axe) begrenztes dünnes Plättchen aus demselben Krystalle stellte sich, an einem Coconfaden aufgehängt, sehr stark in den magnetischen Meridian, und noch jetzt, nach vier Wochen, macht es sehr rasche Oscillationen um die Gleichgewichtslage, wenn ein nicht magnetischer Schlüssel auch nur auf vier Zoll genähert wird. Hierbei begreift man nicht, wie dieses Material mit so vielen anderen für nicht magnetisch gehalten werden konnte.

Zu Anfang dieses Monats ist es mir endlich gelungen, eine Erklärung der von mir an Krystallen beobachteten magnetischen Erscheinungen zu geben und diese Erklärung sowohl durch direkte Versuche als durch mathematische Entwickelungen zu unterstützen. Das Paradoxe zum Beispiel, dass der Turmalin zwischen den beiden Polen aufgehängt der Masse nach angezogen wird und doch vor den Polen flieht, lässt sich einfach auf die Gesetze der gewöhnlichen magnetischen Anziehung zurückführen. Ebenso flieht nämlich ein Eisenstäbchen vor den Polen, wenn es an dem Ende eines Stabes von Messing oder von irgend einer andern, magnetisch ziemlich indifferenten Materie, quer befestigt, und der Stab so an einem Faden aufgehängt wird, dass er um seine Mitte sich horizontal drehen kann.

Ich nehme eine Induction diamagnetischer Ströme an, wie es eine Induction magnetischer Ströme giebt, und zeige durch neue Versuche, dass ein Wismuthstab in einer Spirale, durch welche ein Strom geht, eine diamagnetische, der magnetischen entgegengesetzte Polarität erhält. Alle von mir beobachteten Erscheinungen erklären sich alsdann dadurch, dass in einem Krystalle, das heisst in seinen Molecülen, einerseits magnetische, andererseits diamagnetische Polarität — je nach der magnetischen oder diamagnetischen Beschaffenheit der Masse — nach verschiedenen Richtungen mit verschiedener Leichtigkeit, die mit der verschiedenen Elasticität des Aethers zusammenhängt, durch Induction sich entwickelt: in analoger Weise wie zum Beispiel ein Stäbchen weichen Eisens durch Induction leichter zum Longitudinal- als zum Transversal-Magnet wird. Es versteht sich von selbst, dass wir die letzte Auffassungsweise auch auf Ampère'sche Molecularströme, magnetische und diamagnetische, die in gewissen Ebenen leichter als in anderen entstehen und festgehalten werden, zurückführen können.

Wenn Sie den vorstehenden Andeutungen eine Stelle in Ihren Annalen gönnen wollen, so brauche ich mit der Bekanntmachung der mannigfaltigen Resultate, die ich seit meinem Briefe an Herrn Faraday über das magnetische Verhalten derjenigen Krystalle, die ich mir verschaffen konnte, erlangt habe und die ich gerne noch vervielfältigen möchte, weniger zu eilen und behalte ich auch die wünschenswerthe Musse, das schon vorliegende verschiedenartige Material zur Begründung meiner theoretischen Auffassungsweise zu redigiren.

17.

Ueber die magnetischen Axen der Krystalle und ihre Beziehung zur Krystallform und zu den optischen Axen.

Von Plücker und Beer.

(Annalen der Physik und Chemie, Bd. 81, S. 115—162, 1850 und Bd. 82, S. 42—74, 1851.)

Einleitung.

1) An die Entdeckung Faraday's, dass der Magnet auf alle Körper der Natur einwirkt, knüpft sich die neue Thatsache, dass diese Einwirkung in eigenthümlicher Weise sich dann modificirt, wenn der Körper ein krystallisirter ist.

2) Nach Faraday theilen sich die Körper in zwei grosse Klassen, in magnetische und diamagnetische. Ich betrachte die von ihm in ihrem Zusammenhange zuerst beschriebenen diamagnetischen Erscheinungen gerade so wie die magnetischen als Inductionserscheinungen, nur mit dem Unterschiede, dass bei der Induction magnetischer Substanzen der Nordpol einen Südpol, der Südpol einen Nordpol in seiner Nähe hervorruft, bei der Induction diamagnetischer Substanzen aber der Nordpol einen Nordpol, der Südpol einen Südpol. In die Sprache der Ampère'schen Theorie übersetzt, kommt dies darauf hinaus, dass in magnetischen Substanzen Molecularströme hervortreten, die mit dem inducirenden Strome gleiche Richtung haben, in diamagnetischen Substanzen aber Ströme von entgegengesetzter Richtung. Wenn es uns gelänge, in einem diamagnetischen Körper die Inductionsströme dauernd zu fixiren, wie dieses in dem Falle des magnetischen Stahles uns geboten ist, so wäre ein solcher permanenter Diamagnet von einem permanenten Magnete in keiner Weise mehr zu unterscheiden: Magnetismus und Diamagnetismus sind identisch dasselbe. Nur die Hervorrufung beider ist verschieden: magnetische und diamagnetische Induction sind entgegengesetzt. Ich habe diese Ansicht in einer der königl. nieder-

ländischen Societät übergebenen Abhandlung*) (December 1849) ausgeführt und namentlich, worauf es hier besonders ankommt, die diamagnetische Polarität, wie früher schon von den Herren **Reich**, **Weber**, **Poggendorff** und von mir selbst geschehen, durch neue, aus verschiedenen Gesichtspunkten angestellte Versuche begründet.

3) In eben derselben Abhandlung sind Versuche für die Ansicht mitgetheilt worden, dass die Coërcitivkraft, welche bei verschiedenen magnetischen Substanzen sehr verschieden ist, auch bei der diamagnetischen Induction in Betracht kommen muss und hier verhältnissmässig *grösser* ist als bei der magnetischen Induction. Die Coërcitivkraft zeigt sich besonders darin, dass einmal erlangte Polarität nicht zugleich mit der inducirenden Wirkung aufhört. Ich habe dieses beim Wismuth nachgewiesen. Die Coërcitivkraft giebt sich andererseits dadurch kund, dass, wenn sie einem Körper in höherem Grade zukommt, derselbe einem stärkeren magnetischen Pole oder dem Pole in grösserer Nähe ausgesetzt werden muss, um ebenso stark magnetisch oder diamagnetisch inducirt zu werden, als ein anderer Körper mit geringerer Coërcitivkraft. Und somit erklärt sich einfach das auf experimentalem Wege wohl begründete Gesetz, dass die magnetische Induction mit der Stärke des Poles und folglich auch mit der Entfernung von demselben langsamer abnimmt, als die diamagnetische Induction: ein Gesetz, das auch in den weiter unten beschriebenen Versuchen vielfach sich geltend machen wird.[1])

4) Was die Modificationen betrifft, welche die Krystallisation bei der magnetischen und diamagnetischen Induction hervorbringt, so muss ich hier zu dem Standpunkte der Frage zurückgehen, wie er in dem Programm der hiesigen Universität vom 3. August 1849**), das unter anderen auch in den *Annales de Chimie et Physique* vollständig übersetzt Aufnahme gefunden hat, sich findet. Hier ist ausgesprochen, dass in Krystallen des tesseralen Systems die gewöhnliche magnetische oder diamagnetische Wirkung des Magneten nicht modificirt wird, dass in optisch einaxigen Krystallen die optische Axe, je nachdem der Krystall positiv oder negativ ist, angezogen oder abgestossen werde, dass in optisch zweiaxigen Krystallen diese Anziehung oder Abstossung auf beide Axen sich erstrecke. Nicht ohne Verwahrung schrieb ich die letzten Behauptungen nieder. Einestheils war ich mir wohl be-

---

*) [Diese Abhandlung selbst ist nicht gedruckt worden; ein Auszug findet sich in den Annalen Bd. 86, p. 1—34. (Werke II, Abhandl. 28.)]

**) [Abhandlung Nr. 15.]

wusst, dass beigemischtes fremdes Eisen das Resultat einiger Beobachtungen, aus denen ich Folgerungen gezogen hatte, herbeigeführt haben konnte; andererseits bot sich eine theoretische Schwierigkeit darin dar, dass die Eintheilung der zweiaxigen Krystalle in positive und negative keine wesentliche ist, und der Unterschied bei Krystallen, deren optische Axen auf einander senkrecht stehen, ganz verschwindet; endlich führte ich Eisenvitriol als ein Moment gegen das hypothetische Gesetz an. So versuchte ich denn an die Stelle desselben die andere Hypothese zu setzen, dass eine Wirkung auf die drei Fresnel'schen Elasticitätsaxen stattfinde. Ich schalte die eigenen Worte des Programms hier ein.

„Rejecta aliquamdiu hypothesi a nobis de actione magnetis in axes opticos posita (namque si invenire velis, ne anxius interpretationem iam a te inventa explicantem retineas, vide) nobis problema proposuimus, annon, pro illa hypothesi, phaenomena explicari possent e *sola aetheris in crystallis distributione* a Fresnel exposita. Etenim illa linea media in crystallis positivis, in quibus attrahitur, minimae, atque in negativis, in quibus repellitur, maximae elasticitatis est axis. Corpus fingamus inter polos ita suspensum, ut circum gravitatis centrum ei libere rotandi data sit facultas, atque circum idem centrum notam illam ellipsoïdicam superficiem descriptam, cuius radii vectores elasticitatum quadratis sunt aequi. Nonne, fortasse quaeris, tale corpus ita dirigitur ut minimus ellipsoïdis axis cum linea concidat polos coniungente? Nonne si circum verticalem tantum axem torqueri potest, eum situm petit, quo elasticitatis minoris directiones ante ceteras polis adversae sunt .... Itaque haec hypothesis est relinquenda." [S. 174.]

Auch mit Berücksichtigung der seitdem hervorgetretenen neuen Gesichtspunkte bleibt es ein vergeblicher Versuch, die nach verschiedenen Richtungen verschiedene magnetische Wirkung unmittelbar der verschiedenen Dichtigkeit des Aethers zuzuschreiben. Die Nothwendigkeit war mir damals schon fühlbar und wurde es seitdem immer mehr, die früheren Beobachtungen wieder aufzunehmen und dabei alle Rücksichten anzuwenden, welche dadurch geboten waren, dass seitdem manches Licht über die magnetischen und diamagnetischen Erscheinungen sich verbreitet hatte. Die Thatsachen, welche mich zu meiner Hypothese veranlasst hatten, mussten vervielfältigt und durch neue optische und magnetische Versuche unumstösslich festgestellt werden.

5) Zuvor aber war die Natur der Kräfte genauer zu ermitteln, durch welche die beobachteten Erscheinungen hervorgebracht wurden. Ich habe die Frage im Programm mit aller Bestimmtheit gestellt, aber eine Antwort darauf lag damals nicht vor. Woher kommt es, dass eine Turmalinsäule, horizontal schwingend zwischen den beiden Pol-

spitzen aufgehängt, bei geringerer Entfernung der Pole angezogen wird, bei grösserer Entfernung der Pole aber vor den Polen flieht, ohne dass sie aufhört, der Masse nach von ihnen angezogen zu werden. Der Schwerpunkt jeder Hälfte entfernt sich möglichst weit von den Polen, wenn die Turmalinsäule in ihrer Mitte aufgehängt wird; wenn sie sich um einen ihrer Endpunkte dreht, entfernt sich der Schwerpunkt des Ganzen von dem näheren, stärker anziehenden Pole.

6) Also zuvörderst Anziehung der Masse eines Krystalls und Abstossung einer bestimmten Richtung in demselben. Es ist dieses der Ausdruck für die Erscheinung, wie sie sich uns darstellt. Ganz identisch damit ist es, wenn wir sagen, der Krystall wird nach verschiedenen Richtungen mit verschiedener Kraft angezogen; denn eine solche Wirkung lässt sich mechanisch in eine gleichmässige Anziehung der ganzen Masse und die Anziehung oder Abstossung einer Richtung zerlegen. Dadurch wird kein Jota mehr erklärt, so lange wir nicht auf die Natur der dabei wirksamen Kräfte eingehen. Die Herren Knoblauch und Tyndall, die ihre Arbeiten über das magnetische Verhalten krystallisirter Körper in diesen Annalen, sowie in zwei Abhandlungen im *Philosophical Magazine* dargelegt haben, sehen aber in einer solchen verschiedenen Anziehung einen meiner Anschauungsweise widersprechenden Erklärungsgrund der fraglichen Erscheinungen. Ich meinerseits habe im Programm dieselbe modificirte Auffassung mit denselben Worten früher schon zur Sprache gebracht:

„Quo modo enim phaenomena explicare vis? Non displiceret nobis ponere, in aethere gyros Ampericos inductione, una aut altera directione, circum axes facilius et validiores nasci, aut quod idem, *crystallum inductione magneticum factum polos secundum axium opticorum directionem adipisci:* nisi haec nova videndi ratio etiam attractionem aut repulsionem massae posceret, solo axium situ mutatam. Quae actio diversa *non* observatur.“ [S. 175.]

7) Die letzte Behauptung bezieht sich auf direkte Versuche, die gegen die Annahme einer mit der Richtung sich ändernden Anziehung zu sprechen schienen. Ich entlehne diese Versuche hier aus der oben angeführten Abhandlung vom December 1849, in der sie später aufgenommen worden sind.

„Ich schnitt aus einem sehr schönen Krystall von Eisenvitriol einen Würfel von 11^{mm} Seitenlänge. Die magnetische Axe des Krystalls, das heisst diejenige Mittellinie zwischen den beiden optischen Axen, welche mit der Hauptspaltungsrichtung einen Winkel von 75^0 bildet, war senkrecht auf zwei gegenüberliegenden Seitenflächen, A und B, des Würfels. Die übrigen Flächen wurden durch C, D, E

und *F* bezeichnet. Der Würfel konnte in eine Korkscheibe mit quadratischer Oeffnung eingesteckt werden, die in einem Messingringe gefasst war, welcher durch drei Fäden an dem einen Arm einer Waage aufgehängt wurde. Die grossen Halbanker wurden auf den grossen Elektromagneten aufgelegt und, um die stärkste Wirkung zu erhalten, mit ihren abgerundeten Kanten bis auf wenige Millimeter einander genähert. Dicht über diesen genäherten Kanten wurde der Eisenvitriol-Würfel, dessen untere Fläche aus seiner Fassung hervorragte und genau horizontal gerichtet wurde, äquilibrirt, dann der Magnetismus erregt und durch die Waage, indem auf die an dem anderen Ende derselben hängende Schale langsam Sand geschüttet wurde, das Gewicht bestimmt und hinterdrein gewogen, welches zum Abziehen des Würfels nöthig war. Die verschiedenen Flächen (mit Ausnahme der Fläche *A*, die bezeichnet war) wurden auf diese Weise nach einander von den genäherten Halbankern abgezogen. So ergaben sich in der Ordnung, in welcher sie bestimmt wurden, die folgenden in Grammen ausgedrückten Anziehungen.

Aufliegende Fläche	Anziehung
B	5,37 gr.
C	4,78 „
	4,80 „
D	5,40 „
	5,43 „
E	4,90 „
F	5,44 „
	5,46 „
B	5,42 „

Die letzte Bestimmung war eine Wiederholung der ersten, wodurch die constante Wirkung der Kette bestätigt wurde. Die zwiefachen Bestimmungen, bei welchen dieselbe Fläche aufstand, zeigen durch ihre Uebereinstimmung die Genauigkeit der Abwägungsmethode. Die Abweichungen bei der Vertauschung einer Fläche mit einer anderen können nicht sowohl von Ungenauigkeit der Würfelform und Ungleichheit seiner Oberfläche herrühren, als vielmehr daher, dass der Würfel sich ungleich auf die Halbanker aufstellte, was schon durch die magnetische Axenwirkung hervorgebracht wurde. Die mittlere Anziehung parallel der magnetischen Axe beträgt hiernach

5,395 gr.,

die mittlere Anziehung senkrecht darauf

5,17 gr.,

was nahe $\frac{1}{26}$ zu Gunsten der Anziehung nach der Axe giebt.

Eine zweite Versuchsreihe gab ein ganz übereinstimmendes Resultat. In beiden wurde der Strom durch vier Grove'sche Tröge erzeugt.

Die Erwägung, dass die Hervorrufung der Polarität in dem Eisenvitriol-Würfel, der auf *beide* Halbanker sich aufstellte, eine sehr complicirte sei, bestimmte mich, trotz der dadurch sehr verminderten Anziehung, ihn bloss von einem der beiden Anker, da wo die Anziehung am grössten ist, abzuziehen. Die Anziehung betrug hier nur

0,187 gr.,

wie auch der Würfel aufgestellt werden mochte, ein Unterschied war nicht wahrnehmbar und betrug sicherlich nicht

0,01 gr.

Wenn ein Unterschied in der Anziehung des Krystalles da ist, von der Richtung abhängig, nach der er einem Magnetpole genähert wird — worüber ich hier nicht entscheiden will — so ist er jedenfalls so klein, dass er die beim Eisenvitriol so stark hervortretenden Erscheinungen nicht hervorbringen kann.[2])

8) Ich komme auf diese Resultate — die allerdings der Entwicklung meiner theoretischen Ansichten hemmend entgegentraten — später nochmals zurück, mache aber hier schon darauf aufmerksam, wie wenig man durch die *blosse* Annahme einer von der Richtung abhängigen verschiedenen Anziehung oder Abstossung, die fern von den Polen stattfindet und in der Nähe derselben ganz oder beinahe aufhört, ausrichten kann.

9) Ich muss hier, bevor ich fortfahre, Verwahrung einlegen gegen eine durch mich wohl nicht verschuldete falsche Auslegung meiner älteren Auffassung der fraglichen Erscheinungen. Wenn ich von der Anziehung oder der Abstossung der optischen Axe sprach, so schrieb ich dadurch ebensowenig einer idealen Richtung eine mechanische Wirkung zu oder nahm eine mechanische Wirkung auf eine solche ideale Richtung an, als wenn z. B. Herr Biot sagt, ein Lichtstrahl werde von der optischen Axe des Bergkrystalls angezogen, von der optischen Axe des Doppelspathes abgestossen. Der von mir gebrauchte Ausdruck kann vernünftigerweise nur heissen, dass die mechanische Wirkung auf den Krystall nur eine Resultirende liefert, die mit der Richtung der Axe des Krystalls zusammenfällt [?], und wenn in dieser Hinsicht noch irgend ein Zweifel über meine frühere Ansicht obwalten

sollte, so muss ihn ein Blick auf die zuletzt aus dem Programme citirte Stelle gänzlich zerstreuen.

10) Ueber den Zusammenhang zwischen den gewöhnlichen magnetischen und diamagnetischen Kräften und denjenigen, welche auf die Axen der Krystalle wirken, habe ich mich früher nicht ausgesprochen. Die hierbei obwaltende mechanische Frage konnte ich damals nicht zur Entscheidung bringen. Es war nur eine Thatsache, die ich bezeichnen wollte, wenn ich den Ausdruck gebrauchte, dass die Wirkung auf die optische Axe langsamer mit der Entfernung abnimmt, als die gewöhnliche Wirkung auf seine Masse. Dabei konnte immer jene erste Wirkung nur eine Modification der letzten sein, die erst bei grösserer Entfernung überwiegend hervortritt. Ganz anders war es in Beziehung auf die Kohle und andere gemischte Körper, bei denen ich zuerst das scheinbar ganz gleiche Verhalten wie beim Turmaline beobachtete. Hier war die mechanische Frage für mich bald entschieden; es ist ein Conflict zweier entgegengesetzter Kräfte, ein Conflict von diamagnetischer Abstossung und magnetischer Anziehung der Masse, von denen, je nach der Entfernung, die eine oder die andere vorherrscht.

11) Die Erklärung der magnetischen Axenwirkung concentrirte sich für mich immer mehr um die in der 5. Nummer formulirte Frage. „Es wird der Krystall angezogen und doch flieht sein Schwerpunkt": das ist, allgemein aufgefasst, mit den Gesetzen der Mechanik in offenbarem Widerspruche. Es giebt keine Kraft, unter welcher neuen Form sie auch auftreten möge, die hier eine Erklärung geben kann. Und wenn dennoch unsere Versuche die oben bezeichnete Wirkung anzuzeigen scheinen, *so kann es sich nur um ein mechanisches Paradoxon handeln.* In dem vorliegenden Falle findet dasselbe darin seine volle Erklärung, dass der Krystall bei den in Rede stehenden Versuchen nicht vollkommen frei, sondern gezwungen ist, sich um eine feste vertikale Axe zu drehen. Ein horizontal schwingender Stab, auf welchem eine Magnetnadel mit ihrer Mitte senkrecht gegen denselben in horizontaler Lage befestigt ist, stellt sich, in Beziehung auf die Pole der Erde, gerade so wie eine Turmalinsäule zwischen den Magnetpolen in Folge der Axenwirkung. Die Ausführung des oben angedeuteten Gesichtspunktes nebst der experimentalen Bestätigung desselben und insbesondere der Nachahmung der Erscheinungen, die an ein- und zweiaxigen Krystallen beobachtet werden, finden sich in der oben angeführten Abhandlung vom December 1849 im Anhange zuerst mitgetheilt; nicht lange Zeit nachher ist eine Abhandlung, bloss mit weiteren mathematischen Entwicklungen, unter dem Titel: *Théorie mathématique de l'action des aimants sur les cristaux non appartenant au*

système tesseral an Herrn Crelle abgegangen, in dessen Journal sie eine Stelle finden wird.*) Ich muss mich hier auf dieses Citat und die wenigen Andeutungen, welche folgen, beschränken.

12) Unter der inducirenden Wirkung eines Magnetpols wird jedes kleinste Theilchen des Krystalls polar-magnetisch oder polar-diamagnetisch. Aber die Polarität tritt auf, nicht wie bei der gewöhnlichen Induction nach einer veränderlichen Richtung, die bloss durch die Lage der Pole bestimmt wird, sondern, je nach der Krystallform, nach einer oder mehr als einer festen Richtung. Solche Richtungen, die in dem Krystalle durch die Form desselben gegeben sind, habe ich die magnetischen Axen des Krystalls genannt.[3]) Ein kleinstes Theilchen aber, das nach einer bestimmten Richtung Polarität annimmt und frei um eine feste Axe sich drehen kann, entfernt sich entweder von dem Pole oder nähert sich demselben, je nach dem Abstande von diesem Pole. Hier sind wir auf mathematischem Boden; durch Rechnung erklären sich vollständig alle Erscheinungen, die bisher beobachtet worden sind.

13) Eine Folgerung, die aus der neuen Anschauungsweise unmittelbar sich ergiebt, ist, dass bei gleicher Krystallisation, wodurch gleiche Cohäsionsverhältnisse und eine gleiche Lage der optischen Axen bedingt werden, auch die magnetischen Axen dieselben sind, dass hierbei aber, wenn die Substanz der Krystalle einmal eine homogene und wesentlich (nicht bloss durch Beimischung zufällig) magnetische, das andere Mal eine homogene diamagnetische ist, die Anziehung der Axen in Abstossung, oder umgekehrt, diese in jene sich verwandeln muss.

14) Da ein dünnes Eisenstäbchen durch Induction immer an seinen beiden Enden Pole erhält, so war durch schickliche Anbringung solcher Eisenstäbchen (die nach Umständen auch durch dünne Eisenblättchen ersetzt werden können) in magnetisch relativ indifferenten Stäben, von Messing zum Beispiel, ein einfaches Mittel gegeben, um das Verhalten der Krystalle zwischen den Magnetpolen herzustellen. Eine Turmalinsäule wird auf diese Weise nachgeahmt durch einen Stab, durch dessen Axe *indifferent nach allen senkrechten Richtungen* Stäbchen gesteckt sind. Eine Staurolithsäule wird in ihrem ganzen magnetischen Verhalten dadurch nachgeahmt, dass alle Stäbchen gleichmässig in zwei gegen einander geneigten und durch die Axe gelegten Ebenen immer senkrecht gegen die Axe angebracht sind, wobei diejenige Ebene, welche den Winkel der beiden letztgenannten halbirt, durch die stumpfen Kanten der Säule geht und die Richtungen der Stäbe die beiden magnetischen Axen sind.

*) [Diese Abhandlung ist in Crelle's Journal nicht gedruckt worden; siehe die Anmerkung Plücker's am Schluss dieser Abhandlung.]

15) Die mathematische Theorie giebt eine verschiedene Anziehung der Masse des Krystalls nach verschiedenen Richtungen, und so bieten die in der 7. Nummer mitgetheilten Resultate, die einen merklichen Unterschied in dieser Anziehung nicht geben, auf den ersten Blick eine Schwierigkeit. Aber man sieht leicht ein, dass in der Nähe der Pole der relative Unterschied schwach sein oder gar verschwinden kann, während er in grösserer Entfernung entschieden hervortreten kann. Wenn wir, um bei der Anschauung der vorigen Nummer stehen zu bleiben, die Stäbchen, die den Krystall nachahmen, nach ihrer Axe so lange verkürzen, bis ihre Dimension nach derselben nur wenig noch vorherrscht, so wird in dem so nachgeahmten Krystall die magnetische Vertheilung nach den magnetischen Axen, in der Nähe des Pols aber die gewöhnliche magnetische Vertheilung stattfinden.

16) Die Herren Knoblauch und Tyndall sind in den bereits angeführten Abhandlungen von späterem Datum zu Resultaten gekommen, die denen der 12. und 13. Nummer sehr nahe liegen. Ihre Polemik würde natürlich eine andere gewesen sein, wenn sie meine Abhandlung vom December 1849 gekannt hätten. In Folge meiner neuen Auffassungsweise muss Manches in meiner älteren modificirt werden. Darüber wird am zweckmässigsten erst nach Mittheilung der Experimental-Untersuchungen, die ich mit Herrn Dr. Beer gemeinschaftlich gemacht habe, die Rede sein.

Während in mancher Beziehung die theoretischen Ansichten der beiden genannten Physiker mit den meinigen übereinstimmen, so ist die Grundansicht eine wesentlich verschiedene. Die Theorie Faraday's, der zuerst die *Anziehung* magnetischer Axen beobachtet hat und diese Axen (*magnecrystallic axes*) als senkrecht stehend auf den Spaltungsflächen (beim Wismuth, Antimon, Arsen, schwefelsauren Eisen und schwefelsauren Nickel) definirt, ist auch von ihnen adoptirt und nur dadurch modificirt worden, dass sie das gegenseitige Verhalten magnetischer und diamagnetischer Krystalle als ein neues Moment hierzu beachten. Zu entscheiden, wie weit die Erscheinungen hiermit in Uebereinstimmung seien, gehört in die Diskussion der Versuche. Allerdings aber erscheint es von vornherein, dass das Eigenthümliche der Krystallisation nicht allein in der Spaltbarkeit liegt, dann müssten wir ja manchen Krystallen Spaltungsflächen andichten, die wir nicht wahrnehmen, sondern in den ganzen Cohäsionsverhältnissen. Und diese sind es auch, die in ihrer Gesammtheit dadurch, dass sie in jedem Krystall die Lage und relative Grösse der drei Fresnel'schen Elasticitätsaxen bestimmen, in demselben die jedesmalige Modification in der Fortpflanzung des Lichtes bedingen und, wie ich überzeugt bin, ebenso die Modification in der magnetischen Induction.

17) Hier aber tritt uns die gewichtige Frage entgegen, ob jedes kleinste Theilchen *als Masse* magnetisch werde, wie die genannten Physiker statuiren; oder ob derselbe Aether, in dessen Oscillationen das Licht besteht, nach anderer Weise erregt, Elektricität und Magnetismus gebe. In der letzteren Annahme würde der Alles durchdringende Aether die Fernwirkung beider vermitteln, so wie er das Licht fortpflanzt. Diese zweite Ansicht war der Sporn, der mich vorzugsweise antrieb, meine Kräfte auf diesem Felde zu versuchen.

18) Die schönen Versuche des Herrn Wiedemann, welche durch die unabhängig hiervon später von Herrn Senarmont angestellten Versuche bestätigt worden sind, beweisen zunächst freilich nur für die Verbreitung auf der Oberfläche, dass nach verschiedenen Richtungen die elektrische Leitung verschieden ist, und scheinen dieselbe von der Lage und Grösse der Elasticitätsaxen abhängig zu machen. Die Leitungsfähigkeit liesse sich hiernach durch diese bestimmen, ebenso die mittlere Leitungsfähigkeit in einem kreisförmigen Strome, die sich, da sie unabhängig wäre von dessen Dimensionen, unmittelbar auf die Ampère'schen Molecularströme, das heisst auf Magnetismus übertragen liesse. Wie die Lage der optischen Axen, so liesse sich hiernach auch die Lage der magnetischen Axen mathematisch bestimmen.

19) Doch verkenne ich das Missliche solcher theoretischen Ausführungen nicht, zu deren experimentaler Bestätigung noch die Daten fehlen. In der im Crelle'schen Journal erscheinenden Abhandlung habe ich mich daher nur an Krystalle mit einer einzigen magnetischen Axe gehalten und vorläufig bloss eine auch für sich selbständige Abhandlung, die den weiteren mathematischen Entwicklungen als Grundlage gedient, hinzugefügt. Dagegen habe ich mich gemeinschaftlich mit Herrn Dr. Beer Experimentaluntersuchungen wieder zugewendet, deren Hauptgesichtspunkt ist: die Natur der magnetischen Axen und ihre Lage zur Krystallform zu bestimmen. Die nachfolgende erste Reihe von Versuchen verbreitet sich über die sämmtlichen verschiedenen Krystallsysteme. Wir haben diejenigen Resultate zusammengestellt, die wir vorläufig als abgeschlossen betrachtet haben. Die neueste Abhandlung der Herren Tyndall und Knoblauch im *Philosophical Magazine* kam uns zu spät zu Gesicht, um hierbei irgendwie berücksichtigt werden zu können.*)

Bonn, den 28. August 1850.

Plücker.

*) Was den optischen Theil unserer gemeinschaftlichen Untersuchungen betrifft, so haben wir, mit sehr wenigen Ausnahmen, alle bisherigen Angaben von

Erste Versuchsreihe.

I. Optisch einaxige Krystalle.

A. Krystalle, deren Grundform das Rhomboëder oder die regelmässige sechsseitige Säule ist.

1. Turmalin.

An einer Turmalinplatte aus einem Soleil'schen Polarisationsapparate wurde zuerst die magnetische Axenwirkung wahrgenommen. Nachdem sich ein Stückchen Baumrinde, zwischen den Magnetpolen aufgehängt, bald magnetisch, bald diamagnetisch erwiesen hatte, und der Gedanke dadurch auftauchte, dass bei dieser Erscheinung die Faserrichtung vielleicht von Einfluss sein könnte, wurde nach Analogie die obige Krystallplatte in der Absicht untersucht, ob dieselbe nach verschiedenen von der Krystallform derselben abhängigen Richtungen in verschiedener Weise von dem Magneten afficirt werde. War die Platte vertical aufgehängt*), so verhielt sich dieselbe, je nachdem die optische Axe vertical oder horizontal war, wie ein magnetischer oder diamagnetischer Körper. War sie horizontal aufgehängt, so verhielt sie sich wie ein diamagnetischer Körper, indem sie sich mit der Axe, nach welcher sie die grösste Dimension hatte, äquatorial stellte. Gleich darauf wurde eine natürliche Säule horizontal aufgehängt, die, wie zu erwarten war, *bei gehöriger Länge* je nach der Entfernung der Pole sich in die Linie, die diese Pole verbindet, oder senkrecht darauf stellte. Ueberall das gleiche Verhalten bei kleinen Nadeln und bei einer Säule aus Nordamerika, die 50^{mm} lang und etwas mehr als halb so dick war. Die früher untersuchten waren sehr verschieden gefärbt. Wenn, wie häufig an Krystallen von Elba, an gewissen Stellen die Färbung sich concentrirt, so findet auf dieselben auch die stärkste magnetische Einwirkung statt. Wir fanden in den Notizen über die früheren Versuche einen einzigen Turmalin als diamagnetisch bezeichnet, der sich

---

Neuem geprüft, und wo die Lage der optischen Axen in Beziehung auf die Krystallform nicht bekannt war, dieselbe bestimmt. Wir fanden bei der Untersuchung zweiaxiger Krystalle eine grosse Erleichterung durch Krystallmodelle, in denen wir die Lage der optischen Axen mit Andeutung ihrer Verschiedenheit für verschiedene Farben durch Stifte bezeichneten. Auf unser Ansuchen hat Herr Fessel in Köln eine kleinere Anzahl solcher Modelle sämmtlicher von uns untersuchten Krystalle angefertigt.

*) Wir bemerken, dass wir den dem Versuche unterworfenen Körper immer in einer Schleife eines einfachen Coconfadens aufgehängt haben.

in Folge davon mit der Axe immer äquatorial stellte. Es musste unentschieden bleiben, ob hierbei noch magnetische Axenwirkung stattfand, weil es nicht gestattet war, aus der Säule eine Platte zu schneiden. Wir haben uns jetzt vergeblich bemüht, einen solchen Turmalin wieder zu finden. Ein schöner wasserheller Turmalin von Elba war gegen unser Erwarten immer noch magnetisch. Der Turmalin ist negativ; seine optische Axe wird von den Magnetpolen abgestossen.

2. Kalkspath.

Der isländische Doppelspath zeigt die magnetische Axenwirkung sehr entschieden. Ein solches Stück von beliebiger Form, dessen Dimensionen nur gegen die Entfernung der Polspitzen von einander nicht zu gross sind, richtet sich immer so, dass sich die optische Axe in die Aequatorialebene stellt. Eine senkrecht gegen die Axe geschnittene Platte, deren Durchmesser 3—4 mal grösser ist als ihre Dicke, stellt sich zwischen den Polspitzen, wenn wir diesen eine solche Entfernung geben, dass sie zwischen denselben nur eben noch frei schwingen kann, wie ein diamagnetischer Körper; bei einer geringen Hebung der Platte, oder bei nur wenig vermehrtem Abstande der Pole wirft sich die Platte herum, als wenn ihre optische Axe abgestossen würde. Dieses Resultat ist immer dasselbe, sobald der Kalkspath chemisch rein ist; bei nicht reinem Kalkspathe aber treten andere Verhältnisse ein.

Bei den früheren Versuchen wurde schon ein Kalkspath gefunden, der magnetisch war, dessen Axe aber in gleicher Weise abgestossen wurde, wie bei dem wasserhellen Doppelspathe. Und diese Beobachtung war eine von denjenigen, die damals zu der Ansicht führten, dass die magnetische Wirkung, welche die Abstossung der optischen Axe hervorbringt, vom magnetischen oder diamagnetischen Verhalten der Masse unabhängig ist.

Die Herren Knoblauch und Tyndall dagegen behaupten, dass der magnetische Kalkspath sich so zwischen den Magnetpolen richtet, als wenn seine optische Axe von denselben angezogen würde, und stützen hierauf ihre Grundanschauung, dass das Verhalten der Krystalle bei unveränderter Form zwischen den Magnetpolen sich umkehrt, wenn die Masse derselben einmal magnetisch, dann diamagnetisch ist. Dieselbe Ansicht ist früher schon in der bereits in der Einleitung erwähnten mechanischen Theorie des eigenthümlichen magnetischen Verhaltens der Krystalle aufgestellt worden. Zur Aufklärung der Sache erhielten wir durch die Güte des Herrn Dr. Krantz Kalkspathe von verschiedener Form und verschiedenen Fundorten.

Gleich der erste Krystall, den wir untersuchten, aus einer derben

homogenen, vollkommen spaltbaren Masse von Bossie in Newyork, war diamagnetisch und verhielt sich dem entsprechend zwischen den Polen, richtete sich aber, ein wenig gehoben, so, dass die optische Axe in die Meridianebene rückte. Eine senkrecht gegen die Axe geschliffene Platte bestätigte die Anziehung dieser Axe.

Dasselbe Verhalten zeigte ein halb durchsichtiger Krystall aus einer derben Masse von Prag.

Von den übrigen Krystallen zeigte einer, eine regelmässige sechsseitige Säule von Andreasberg, die Bestätigung der älteren, oben erwähnten Beobachtung. Er war magnetisch und seine optische Axe wurde abgestossen. Der Krystall war an einem Ende abgebrochen, an dem anderen durch die Basis der sechsseitigen Säule scharf begrenzt. Er war von weisslicher Farbe, in der Mitte indess von einer wasserhellen Schicht durchzogen, die aber so dünn war, dass, wenn wir sie auch als diamagnetisch betrachten wollen, wir sie dennoch nicht für die Ursache der Stellung, die der ganze Krystall annahm, ansehen können.

Das von den Herren Knoblauch und Tyndall beobachtete Verhalten wurde bei einem derben milchweissen Kalkspathe beobachtet, der Schwefelkieskrystallen als Muttergestein diente. Er ist magnetisch, und seine Axe wird angezogen. Ebenso verhielten sich endlich noch drei Krystalle. Der erste war von Przibram, der zweite aus Zellerfeld. Der dritte war eine wasserhelle, an dem einen Ende vollständig auskrystallisirte, sechsseitige Säule, die sich gegen Erwarten als entschieden magnetisch erwies. Diese Säule, 14^{mm} lang und 7^{mm} und 4^{mm} im Durchmesser, stellte sich auch in einer Erhebung von 150^{mm} fortwährend axial. Eine aus ihr senkrecht gegen die Axe geschnittene Platte, 5^{mm} dick, stellte sich, so aufgehängt, dass sich die Axe in der Horizontalebene drehen konnte, mit dieser Axe axial. Ein ziemlich durchsichtiger Krystall von Brilon verhielt sich ebenso. Er zeigte ein gutes Ringsystem und verhielt sich wie alle durchsichtigen Kalkspathe in optischer Hinsicht als ein negativer Krystall.

Endlich verhielten sich in Scalenoëdern krystallisirte Doppelspathe, deren einer die Pyrenäen zum Fundorte hatte, wie der reine isländische Doppelspath.

Wenn wir zusammenfassen, so giebt es also sowohl diamagnetische, als auch magnetische Kalkspathe, deren optische Axe von den Magnetpolen abgestossen wird, sowie es andererseits sowohl diamagnetische, als auch magnetische Kalkspathe giebt, deren optische Axe angezogen wird. Und hiernach steht endlich noch zu erwarten, dass man Kalkspathe finde, die keine oder nur sehr schwache magnetische Axen-

wirkung zeigen. Das verschiedene Verhalten des Kalkspathes haben die Herren Knoblauch und Tyndall mit Recht gegen die Ansicht geltend gemacht, dass nicht allein die optische Natur des Krystalls (ob er positiv oder negativ sei) die Anziehung oder Abstossung der Axe anzeige. Ein ebenso gewichtiges Moment legt dasselbe aber auch gegen die Ansicht in die Waagschale, dass bei übrigens gleichen Verhältnissen der Magnetismus oder Diamagnetismus der Masse eines einaxigen Krystalles die Anziehung oder Abstossung seiner Axe bestimme.

Um das mehrfache Verhalten des Kalkspathes zu erklären, müssten wir zuerst die Frage beantworten: ob in allen Fällen, wo der diamagnetische Kalkspath durch magnetisches Eisen verunreinigt ist, dieses jenem unter der Form des isomorphen kohlensauren Eisens beigemischt ist, oder ob es bloss in die Spaltungen des Krystalls schichtweise sich abgelagert hat. Vor allem aber ist das verschiedene Gesetz in der Zu- und Abnahme der magnetischen Anziehung und diamagnetischen Abstossung, das überall bei Mischungen eintritt, in Anschlag zu bringen, mit anderen Worten, die verschiedene Coërcitivkraft bei magnetischen und diamagnetischen Substanzen. Beschränken wir uns auf chemisch reinen Kalkspath, so haben wir das unbestreitbare Resultat, dass die optische Axe desselben abgestossen wird, und der Krystall ist ein negativer.

3. Salpetersaures Natron.

Isomorph mit Kalkspath und noch stärkere negative Doppelbrechung besitzend als dieser. Die Masse des Krystalls ist diamagnetisch, und seine optische Axe wird abgestossen.

4. Bitterspath.

Isomorph mit Kalkspath und wie dieser in optischer Hinsicht negativ. In Folge von beigemischtem Eisen war der schöne und grosse Krystall (in Talk eingewachsen) magnetisch; seine Axe wurde angezogen, gerade wie bei den von den Herren Knoblauch und Tyndall zuerst untersuchten unreinen Doppelspathen.

5. Eisenspath.

Isomorph mit Kalkspath. Schöne undurchsichtige rhomboëdrische Krystalle. Die Masse ist stark magnetisch. Die Axe wird dem starken Magnetismus entsprechend mit grosser Kraft angezogen. An einem Coconfaden aufgehängt, richtet er sich durch den schwächsten Magnet. Er ist es offenbar, der die Wirkung beim Bitterspathe hervorbringt.

6. Beryll.

Schöne sechsseitige Säulen, durch vollkommene Spaltungsflächen begrenzt, die auf ihrer Axe senkrecht stehen. Alle untersuchten Säulen waren magnetisch. Eine solche Säule, deren Länge nicht das doppelte bis dreifache ihrer Dicke übertrifft, stellt sich zwischen den genäherten Polen, in Uebereinstimmung mit dem Magnetismus ihrer Masse, axial, wirft sich aber bei einer geringen Erhebung gegen den Magnetismus in die äquatoriale Lage herum. Die optische Axe des Krystalls wird abgestossen; der Krystall ist negativ.

7. Arsenikblei.

Die Masse desselben ist diamagnetisch, seine Axe wurde gegen Diamagnetismus abgestossen. Zur Bestimmung des optischen Verhaltens waren unsere Krystalle noch etwas zu trübe.

8. Dioptas.

Sehr stark magnetisch. Die Pole liessen sich nicht so nahe bringen, dass die horizontal aufgehängte sechsseitige Säule sich axial stellen konnte. In Folge der magnetischen Axenwirkung nahm sie immer die äquatoriale Lage an. Nach Brewster ist der Krystall negativ; seine optische Axe wird abgestossen.

9. Wismuth.

Herr Faraday entdeckte zuerst beim Wismuth, dass es auch krystallinische Körper giebt, in denen sich von der Krystallisation abhängige Richtungen zeigen, die von den Polen eines Magneten *angezogen* werden, und hielt für den wesentlichen Charakter dieser Richtungen, dass sie auf einer Hauptspaltungsfläche senkrecht stehen. Beim Wismuth, für dessen Krystallform man früher den Würfel hielt, dem man erst in neuerer Zeit mit unzweifelhaftem Rechte ein dem Kubus sich annäherndes Rhomboëder substituirte, ist diese Richtung in Gemässheit der Krystallform die optische Axe. Die Anziehung dieser Axe ist sehr stark; ein Stück von beliebiger Form, in dem eine einzelne Richtung nicht gar zu sehr vorherrscht, stellt sich, zwischen den Polspitzen in gewohnter Weise aufgehängt, immer so, dass, unbekümmert um die diamagnetische Wirkung auf die Masse, die optische Axe in die Linie der Pole rückt. Ist der Wismuthkrystall einer Polspitze so nahe, dass er abgestossen wird, so geschieht dies in der Art, dass seine optische Axe dem Pole zugekehrt ist.

Eine schöne krystallisirte Platte von Wismuth, durch Hauptspaltungsflächen begrenzt und horizontal zwischen den Polspitzen aufgehängt, nahm ebenfalls noch, aber viel schwächer, eine bestimmte Richtung an, wobei sich die am stärksten angedeutete der drei gleichwerthigen Spaltungsrichtungen nach den Rhomboëderflächen äquatorial stellte. Aehnliches beobachteten später die Herren Knoblauch und Tyndall am Kalkspath. Wir halten diese Erscheinungen für untergeordnet.

Plücker beobachtete, dass geschmolzenes Wismuth zwischen den Magnetpolen so krystallisirt, dass die Richtung, die auf der vollkommenen Spaltungsfläche senkrecht steht (die optische Axe), von Pol zu Pol geht.

10. Antimon.

Verhält sich in krystallographischer Hinsicht wie Wismuth; hat eine Hauptspaltungsfläche, auf welcher die optische Axe senkrecht steht. Herr Faraday fand, dass diese Axe von den Polen wie in dem Falle des Wismuths angezogen wurde.

Neben diese nicht zu bezweifelnde Thatsache stellt sich die andere ebenso zuverlässige, dass unser Antimon, mit vollkommen schöner Spaltungsfläche und wie das Faraday'sche stark diamagnetisch, sich gerade umgekehrt verhielt, und die optische Axe desselben abgestossen wurde und zwar fast mit derselben Stärke, wie die Axe des Wismuths angezogen wurde.

Das verschiedene Verhalten der verschiedenen anscheinend gleich stark diamagnetischen Antimone kann nach den beim Kalkspath beobachteten Erscheinungen weniger befremden. Der Kalkspath von Island und von Newyork sind beide diamagnetisch, beim ersteren wird die Axe abgestossen, beim letzteren angezogen. Das Faraday'sche Antimon wie das unsere ist diamagnetisch; bei ersterem wird die Axe angezogen, bei letzterem abgestossen. Wir vermuthen hiernach, dass unserem Antimon Eisen beigemischt ist, aber so wenig, dass dadurch das diamagnetische Verhalten desselben nicht merklich geschwächt wird.

11. Arsen.

Nach Herrn Faraday, ganz wie Wismuth und Antimon, diamagnetisch und zwischen den Polen sich so stellend, dass die Linie senkrecht auf der Spaltungsfläche, die optische Axe, angezogen wird.

Herr Faraday machte seine Versuche mit Sorten, die gegen Diamagnetismus sich axial stellten; uns standen nur von Spaltungsflächen begrenzte Platten zu Gebote, die sehr entschieden *magnetisch* waren in

Folge von beigemischtem Eisen. Diese Platten stellten sich so, dass die optische Axe angezogen wurde, wie es Herr Faraday beobachtete. Auch hiervon finden wir die Analogie beim Kalkspathe wieder. Durch Zusatz von Eisen, der das magnetische Verhalten geradezu umkehrt, ändert sich die Wirkung auf die optische Axe nicht, die hier eine Anziehung derselben ist, beim Kalkspathe von Island und von Andreasberg aber eine Abstossung der Axe war.

12. Eis.

Es ist nach Brewster ein positiver Krystall. Die optische Axe desselben wird von den Polen des Magneten angezogen. Diese ältere Beobachtung wurde im verflossenen Winter unter günstigen Umständen wiederholt.

Aus einer wasserhellen Platte, die beim Durchsehen das Ringsystem gut zeigte, wurde eine Säule, etwa doppelt so lang als dick, durch heissen Kupferdraht herausgeschmolzen und in die Lufttemperatur von 13° C. gebracht. Diese Säule, deren Axe zugleich die optische Axe war, liess sich bequem zwischen den Polen aufhängen, ohne zu schmelzen. Stark diamagnetisch abgestossen, stellte sie sich äquatorial, wurde aber bei einer kleinen Erhebung in die axiale Lage herumgeworfen.

13. Quarz.

Reiner Bergkrystall zeigt selbst bei Anwendung von 10 Grove'schen Elementen keine Wirkung.*) Er ist positiv.

*) Da ich früher beim Quarz eine schwache Axenwirkung gesehen zu haben glaubte, und zwar anfänglich eine Abstossung, später eine Anziehung, ist es vielleicht nicht unangemessen, die Fehlerquelle hier anzugeben. Eine grössere senkrecht gegen die Axe geschliffene Platte und eine längere natürliche Säule zeigten keine Wirkung; der gewöhnliche Diamagnetismus bestimmte jedesmal die der Form entsprechende Stellung. Bei stärkerer Axenwirkung hätte bei der Platte sich die Abstossung, bei der Säule sich die Anziehung der Axe gezeigt. Um schwächere Axenwirkung nachzuweisen, musste die Flächendimension der Platte, die Längendimension der Säule verkürzt werden. Dieses geschah durch Einklemmen und Abschlagen mit einem eisernen Hammer. Nach einer ein- oder mehrmaligen Verkürzung erreichte ich jedesmal das Gewünschte zu sehen; und doch war sorgfältig nachher durch Anlegen an den Magnet untersucht worden, dass der Krystall an keiner Stelle magnetisch sich verhielt. Es haftete jedoch an den Stellen, wo er mit dem Hammer berührt worden war, Eisen. Nachdem ich das Gesetz gefunden, dass die diamagnetische Abstossung mit der Annäherung an den Pol rascher zunimmt, als die magnetische Anziehung, begreift sich, dass bei der Berührung das Eisen durch Anziehung sich nicht kund gab, aber in grösserer Entfernung nach Umständen eine Anziehung der Stellen, an denen Eisen haftete, hervorbringen musste. Hiernach stellten sich Platte und Säule natürlich

Ein gleich zu Anfang untersuchter Krystall von Hagen, der seines Eisengehaltes wegen magnetisch war, stellte sich so, dass seine optische Axe abgestossen wurde, und trug dazu bei, dass ursprünglich überall eine Abstossung der optischen Axe angenommen wurde, es mochte der Krystall positive oder negative doppelte Strahlenbrechung zeigen.

B. Krystalle, deren Grundform das Quadrat-Octaëder oder die quadratische Säule ist.

1. Schwefelsaures Nickeloxyd.

Wir verdanken Herrn Dr. Marquardt einen schönen Krystall, eine quadratische Säule mit zweifacher Entrandung. Mit grösster Vollkommenheit senkrecht gegen die Axe spaltbar, gab sie durch die natürlichen Spaltungsflächen ein schönes Ringsystem. Sie zeigte sich, vermittelst einer Glimmerplatte, die eine Verzögerung von $\frac{1}{4}$ Wellenlänge giebt, untersucht, als negativ. Das Salz enthielt kein Kupfer, ist also nicht mit dem schwefelsauren Nickelkupfer des Brewster'schen Verzeichnisses zu verwechseln.

Die optische Axe wird von den Magnetpolen abgestossen.

2. Molybdänsaures Bleioxyd (Gelbbleierz).

In vierseitigen kleinen und dünnen Tafeln krystallisirt, gelblich und ganz durchsichtig. Bei seiner sehr starken doppelbrechenden Kraft sieht man das Ringsystem unter dem Polarisations-Mikroskop sehr schön. Wie im vorigen Falle wurde ermittelt, dass sich dasselbe negativ verhält. Stark diamagnetisch.

Wenn ein solches Krystallblättchen so aufgehängt wurde, dass seine Axe sich in der Horizontalebene drehen konnte, so wurde es von jedem Pole abgestossen, stellte sich aber schon bei sehr geringem Polabstande der diamagnetischen Abstossung entgegen von Pol zu Pol, so also, als ob die Axe abgestossen würde.

3. Vesuvian.

Eine undurchsichtige, an einem Ende zugespitzte quadratische Säule fand sich stark magnetisch, wurde aber gegen den Magnetismus bei geringem Polabstande in der äquatorialen Lage festgehalten. Der Vesuvian wird seit Brewster überall als negativ angeführt.

---

so, dass bezüglich die optische Axe sich von den Polen entfernte oder sich ihnen annäherte. Etwas Salzsäure entfernte die verborgene Fehlerquelle.

Plücker.

4. Arsensaures Kali.

Sehr schöne und grosse wasserhelle Krystalle, quadratische Säulen mit den vier Zuspitzungsflächen, verdanken wir Herrn Dr. C. Stammer. Sie haben nur eine schwache doppelbrechende Kraft und zeigen demnach bei namhafter Dicke ein übrigens sehr schönes Ringsystem von grossem Durchmesser. Der Krystall ergab sich nach derselben Bestimmungsweise wie vorhin als negativ.

Selbst bei Anwendung von 10 Grove'schen Trögen konnten wir keine Axenwirkung entdecken, weder eine Abstossung, noch eine Anziehung der Axe. Die Masse des Krystalls war entschieden diamagnetisch.

5. Zirkon.

Meistens enthalten die Zirkonkrystalle Eisen unregelmässig durch ihre Masse vertheilt und sind dann ungleichmässig magnetisch. Zwei an beiden Enden auskrystallisirte quadratische Säulen verhielten sich diamagnetisch, wurden aber bei einer geringen Erhebung in die axiale Lage herumgeworfen. Die Axe wurde gegen Diamagnetismus angezogen.

Seit Brewster wird Zirkon als positiv bezeichnet.

6. Gelbes Blutlaugensalz.

Es krystallisirt in quadratischen, meist flachen Säulen, deren Randkanten durch die Flächen eines Quadrat-Octaëders abgeschnitten sind. Parallel den Endflächen der Säule ist vollkommene Spaltbarkeit vorhanden. Der Krystall ist optisch einaxig und, wie wir im Gegensatze zu der Annahme Brewster's fanden, positiv. Sehr viele Stücke zeigten ein Ringsystem, wie es einem zweiaxigen Krystall entspricht. Diese Erscheinung ist offenbar die Folge eines sekundären Druckes, da sich der Winkel der beiden optischen Axen von einem Stücke zum anderen änderte, und das Ringsystem verzerrt erschien. Die Masse ist diamagnetisch. Wir konnten selbst bei Anwendung von 10 Trögen keine Axenwirkung wahrnehmen.

7. Essigsaurer Kupferkalk.

Schöne kleinere Krystalle, namentlich achtseitige Säulen von 4^{mm} Durchmesser und nahe gleicher Höhe. Durch ihre Endflächen, von denen immer eine vollkommen glatt ist, zeigten sie ein schönes Ringsystem und bewiesen sich, in Uebereinstimmung mit Brewster's Angabe, positiv. Ihre Masse war sehr entschieden magnetisch, was wahrscheinlich einer Verunreinigung durch Eisen zuzuschreiben ist.

Eine jener Säulen mit zurücktretender Höhendimension und so aufgehängt, dass die Axe horizontal sich drehen konnte, stellte sich bei sehr genäherten Polen dem Magnetismus ihrer Masse entsprechend. Bei einer nur wenig grösseren Entfernung der Pole aber ging die Axe von der äquatorialen in die axiale Lage über; sie wurde angezogen.

8. Uranglimmer.

Die Krystalle, von Herrn Dr. Krantz herrührend, waren von Eisenoxyd umgeben und von demselben zum Theil durchzogen. Eine schöne grüne tafelförmige Säule mit fortgenommenen Randkanten, vollkommen durchsichtig und dem Auge keine Spur von Eisenoxyd zeigend, gab unter dem Polarisations-Mikroskope ein schönes Ringsystem von vier Ringen und zeigte, dass der Krystall negativ ist. Wenn die Tafel vertical aufgehängt wurde, und die Axe demnach in der Horizontalebene sich drehen konnte, so stellte sie sich schon bei geringem Abstande der Pole, gegen den Magnetismus ihrer Masse, mit ihrer Axe, die auf der sehr vollkommenen Spaltungsfläche senkrecht steht, entschieden axial, ein Resultat, das nur mit dem Verhalten unseres durch Eisen verunreinigten Arsens oder im anderen Sinne mit dem unseres Antimons vielleicht Analogie hat.

9. Skapolith.

Von diesem Mineral standen uns zwei ganz verschiedene Exemplare zu Gebote. Das eine aus Pargas, eine quadratische Säule, zeigte keine Spur von Spaltbarkeit, hatte eine nur geringe Härte, so dass es sich mit einem Messer schneiden liess, und war bei vollkommener Undurchsichtigkeit grünlich schwarz gefärbt. Seine Masse war magnetisch. Eine Platte, deren Begrenzungsflächen senkrecht zur Säulenaxe waren, stellte sich bei geringer Erhebung über die Pole, ihrem Magnetismus entgegen, in die äquatoriale Lage; ihre Axe wurde angezogen.

Die zweite Varietät des Skapoliths aus Nordamerika, welche wir untersuchten, war ebenfalls in quadratischen Säulen krystallisirt, welche aber parallel den Seitenflächen Spaltbarkeit zeigten, eine bedeutende Härte besassen und weiss gefärbt waren; auch war ihre Masse diamagnetisch. Wir vermochten nicht, an diesen Säulen irgend eine Axenwirkung zu beobachten. Brewster bezeichnet den Skapolith als einen negativen Krystall.

II. Optisch zweiaxige Krystalle.

A. Krystalle, deren Grundform die gerade rhombische Säule ist.

Alle hierher gehörigen Krystalle haben zwei optische Axen, deren Ebene mit einem der drei Hauptschnitte, deren Mittellinie mit einer der drei Axen der Krystallform zusammenfällt. Die optischen Axen für verschiedene Farben liegen immer in ein und derselben Ebene.*) Es finden nur zwei Fälle statt; entweder ist für die stärker brechbaren (violetten) oder für die minder brechbaren (rothen) Strahlen der Winkel der Axen grösser; im ersten Falle liegen also, da die Mittellinie für alle Farben dieselbe ist, die Axen für rothe Strahlen beide innerhalb des von den Axen für violette Strahlen gebildeten Winkels, im zweiten Falle umgekehrt.

Die magnetische Axenwirkung lässt sich bei den fraglichen Krystallen nicht mehr wie bei den optisch einaxigen auf eine einzige magnetische Axe, die angezogen oder abgestossen wird, zurückführen. Stellen wir, um die Anschauung zu fixiren, aus einer Turmalinsäule einen Cylinder dar, dessen Axe mit der Axe der Säule zusammenfällt, und hängen diesen Cylinder horizontal auf, so wird er in Folge der magnetischen Axenwirkung immer gleich stark in die axiale Lage getrieben, wie wir ihn auch um seine Axe drehen mögen, und wird er nach der Axe aufgehängt, so verschwindet jede nicht von zufälligen Unregelmässigkeiten herrührende Richtkraft. Anders verhält es sich bei den Krystallen, die in geraden rhombischen Säulen krystallisiren. Eine solche Säule oder besser ein aus ihr hergestellter Cylinder, der die Axe der Säule auch zu der seinigen hat, richtet sich, horizontal zwischen den Magnetpolen aufgehängt, in Folge der Axenwirkung nicht mit gleicher Kraft, wenn er um seine Axe gedreht wird, oder er richtet sich bei einer continuirlichen Drehung um seine Axe abwechselnd axial und äquatorial. Nach seiner Axe aufgehängt, richtet sich der Cylinder, und zwar immer so, dass die beiden durch die Axe gehenden Hauptschnitte des Krystalls, von denen der eine die stumpfen, der andere die spitzen Kanten enthält, mit der axialen und äquatorialen Lage zusammenfallen, was zwei verschiedene Fälle einschliesst. Alle beobachteten Stellungen des Krystalls, die diesen Aufhängungen entsprechen, erklären sich durch die Annahme, dass in demselben nicht bloss eine, sondern zwei Richtungen angezogen oder abgestossen werden, und dass diese Richtungen

*) [Dies ist nicht allgemein richtig, z. B. bildet der Brookit eine Ausnahme.]

in einem der drei Hauptschnitte der geraden rhombischen Säule liegen, und ihre Mittellinie mit einer krystallographischen Axe zusammenfällt. In dieser Beziehung haben also die magnetischen Axen eine Lage gegen die Krystallform, welche derjenigen der optischen Axen analog ist.

Wenn wir den Krystall nach einander nach seinen drei krystallographischen Axen aufhängen, erhalten wir zunächst die Unterscheidung von sechs Fällen. Wir wollen der Uebersicht wegen die Richtungen der Säulenaxe, der kurzen und der langen Diagonale ihrer Basis, sowie auch die Dimensionen des Krystalls nach diesen drei Richtungen, durch α, $\varkappa$ und λ bezeichnen. Dann können wir die sechs verschiedenen Fälle in nachstehender Tafel zusammenstellen.

Bei einer Aufhängung nach

Bei einer Aufhängung nach	α	$\varkappa$	λ	α	$\varkappa$	λ
stellt sich	äquatorial			axial		
1.	$\varkappa$	α	α	λ	λ	$\varkappa$
2.	λ	α	α	$\varkappa$	λ	$\varkappa$
3.	$\varkappa$	α	$\varkappa$	λ	λ	α
4.	$\varkappa$	λ	$\varkappa$	λ	α	α
5.	λ	λ	α	$\varkappa$	α	$\varkappa$
6.	λ	λ	$\varkappa$	$\varkappa$	α	α

Damit die Axenwirkung unzweifelhaft hervortrete, müssen die Dimensionen α, $\varkappa$, λ so bestimmt werden, dass die Stellung, welche der Krystall in Folge dieser Wirkung annehmen muss, mit derjenigen nicht übereinstimmt, die er in Folge seiner Form als einfach magnetischer oder diamagnetischer Körper annehmen würde. Die entscheidenden relativen Dimensionen für die sechs möglichen Fälle sind

	Für magnetische Krystalle	Für diamagnetische Krystalle
1.	$\alpha > \varkappa > \lambda$	$\alpha < \varkappa < \lambda$
2.	$\alpha > \lambda > \varkappa$	$\alpha < \lambda < \varkappa$
3.	$\varkappa > \alpha > \lambda$	$\varkappa < \alpha < \lambda$
4.	$\varkappa > \lambda > \alpha$	$\varkappa < \lambda < \alpha$
5.	$\lambda > \alpha > \varkappa$	$\lambda < \alpha < \varkappa$
6.	$\lambda > \varkappa > \alpha$	$\lambda < \varkappa < \alpha$

Die verschiedenen Stellungen, welche der Krystall in den sechs oben angeführten Fällen annimmt, können sowohl einer Anziehung zweier magnetischer Axen, als auch einer Abstossung zweier magnetischer Axen zugeschrieben werden. Hiernach verdoppelt sich die Anzahl der

möglichen Fälle. In der folgenden Tafel ist die Ebene der beiden Axen (bezeichnet durch die Symbole der beiden Krystallaxen, die sie enthält) und die Mittellinie derselben, wie sie den 12 Fällen entspricht, übersichtlich zusammengestellt.

	Abstossung der Axen		Anziehung der Axen	
	Mittellinie	Ebene der Axen	Mittellinie	Ebene der Axen
1.	α	$\alpha\varkappa$	λ	$\varkappa\lambda$
2.	α	$\alpha\lambda$	$\varkappa$	$\varkappa\lambda$
3.	$\varkappa$	$\alpha\varkappa$	λ	$\alpha\lambda$
4.	$\varkappa$	$\varkappa\lambda$	α	$\alpha\lambda$
5.	λ	$\alpha\lambda$	$\varkappa$	$\alpha\varkappa$
6.	λ	$\varkappa\lambda$	α	$\alpha\varkappa$

Durch die obige Aufhängung können wir die paarweise zusammengestellten Fälle nicht von einander unterscheiden, so dass es zweifelhaft bleibt, ob die beiden vorhandenen magnetischen Axen des Krystalls angezogen oder abgestossen werden.

Wenn wir aus einem einaxigen Krystalle, z. B. aus Kalkspath oder Turmalin, ein cylindrisches Stäbchen schneiden, dessen Axe mit der Axe des Krystalls irgend einen Winkel ω bildet, und dieses Stäbchen dann horizontal aufhängen, so wird dasselbe im Allgemeinen in Folge der magnetischen Axenwirkung gegen die Linie der Pole eine schiefe Stellung einnehmen, und diese Stellung sich ändern, wenn der Krystall um seine Axe gedreht wird. Wir wollen zuerst voraussetzen, dass die magnetische Axe des Krystalls, wie in den beiden genannten Fällen, von den Polen abgestossen werde. Während einer Drehung von 360° wird das Stäbchen sich zweimal genau äquatorial stellen, dann nämlich, wenn die optische (magnetische) Axe in die Verticalebene fällt. Rechnen wir den Winkel, der die Drehung misst, von einer der beiden eben angegebenen Lagen an und nennen ihn ψ, während wir den Winkel, den die Axe des Stäbchens nach irgend einer beliebigen Drehung mit der äquatorialen Richtung bildet, φ nennen, so erhalten wir die Gleichung

$$\tang \varphi = \sin \psi \tang \omega.$$

Die grösste Abweichung des Stäbchens von der äquatorialen Lage erhalten wir bei einer Drehung von 90°. Alsdann wird $\varphi = \omega$. Zugleich ist in dieser Lage die magnetische Axenwirkung am stärksten. (Die Zunahme dieser Wirkung können wir durch die Oscillationsdauer des Stäbchens messen.) Drehen wir das Stäbchen, von irgend einer Lage an gerechnet, um 180° weiter, so findet die Abweichung von der

äquatorialen Lage um einen gleichen Winkel nach der anderen Seite hin statt.

An Stelle des cylindrischen Stäbchens können wir auch eine cylindrische Platte nehmen, diese mit ihren Flächen vertical aufhängen und dann um die auf ihr senkrechte Linie drehen. Nehmen wir z. B. eine schiefe rhombische Säule von Kalkspath (ein nach einer Richtung hin verlängertes Rhomboëder), die durch natürliche Flächen begrenzt und etwa doppelt so lang als breit ist, so wird diese Säule bei gehöriger Entfernung der Polspitzen mit ihrer Axe dann sich genau äquatorial stellen, wenn die durch ihre stumpfen Kanten gehende Ebene vertical ist. Bei einer Drehung weicht die Säule von der äquatorialen Lage nach einer Seite hin immer mehr ab, erreicht bei 90° den grössten Ausschlag (der demjenigen Winkel gleich ist, den die optische Axe mit den Kanten der Grundform bildet), macht bei 270° den grössten Ausschlag nach der andern Seite, der dem früheren gleich ist, und kehrt endlich zu der ursprünglichen Lage wieder zurück.

Wenn wir die Lage der optischen (magnetischen) Axe, die von den Magnetpolen abgestossen wird, kennen, so können wir die Stellung, die ein Krystallfragment annimmt, nach der vorstehenden Gleichung vorhersagen. Umgekehrt können wir aus dem magnetischen Verhalten die Lage der optischen Axe bestimmen. Wir brauchen nur das Krystallfragment um irgend eine horizontale Axe so lange zu drehen, bis diese Axe den grössten Ausschlag macht. Dann ist die optische Axe horizontal und genau äquatorial gerichtet. Die oben aufgestellte Formel findet auch auf den Fall, dass eine Anziehung der magnetischen Axe wie beim Wismuth stattfindet, ihre unmittelbare Anwendung. Wir brauchen bloss den Winkel φ von der axialen Richtung an zu rechnen.

Um nach dem Vorstehenden zu erkennen, ob ein gegebenes Fragment eines optisch einaxigen Krystalles eine magnetische Axe habe, die abgestossen oder angezogen wird, brauchen wir das Fragment bloss beliebig aufzuhängen und, während es aufgehängt ist, um irgend eine horizontale Axe zu drehen. Wenn dann in Folge der Axenwirkung die horizontale Drehungsaxe durch die axiale Lage hindurchgehend zu beiden Seiten verschieden ausschlägt, so ist die magnetische Axe eine solche, die angezogen wird; wenn aber die horizontale Axe, um welche gedreht wird, durch die äquatoriale Lage hindurchgehend zu beiden Seiten verschieden ausschlägt, so hat der Krystall eine magnetische Axe, die abgestossen wird. Im ersten Falle können wir den Krystall in magnetischer Beziehung positiv, im zweiten negativ nennen.[4])

Wenn zwei magnetische Axen, die entweder angezogen oder abgestossen werden, vorhanden sind, so wird die Mittellinie zwischen den

beiden Axen, d. h. die Linie, welche die von ihnen gebildeten spitzen Scheitelwinkel halbirt, im Allgemeinen entweder eine Anziehung oder eine Abstossung erfahren. Hier bietet sich also für magnetisch zweiaxige Krystalle dasselbe Mittel dar wie bei den einaxigen, um zu bestimmen, ob die Axen von den Magnetpolen angezogen oder abgestossen werden. Nur verlangt diese Bestimmungsweise die grösste Sorgfalt, da, wenn bei einer Drehung die Axenwirkung abnimmt, die Dimensionen des Krystalls bei seiner Stellung zwischen den Magnetpolen sich wieder geltend machen können.[5])

1. Citronsäure.

Die untersuchten Krystalle waren schöne, wasserhelle, rhombische Säulen, deren Seitenflächen (nach Kopp) Winkel von 117° 30′ bilden. Die spitzen und stumpfen Ecken beider Endflächen waren fortgenommen. Die Ebenen, welche die spitzen Ecken fortnehmen und oberhalb der Basis einen Winkel von 125° 21′ bilden, sind vollkommene Spaltungsflächen; eine dritte, ebenso vollkommene Spaltungsfläche geht durch die stumpfen Kanten der Säule.

Wenn man durch die beiden Paare gegenüberliegender Seitenebenen der Säule senkrecht hindurchsieht, erblickt man im polarisirten Lichte zwei schöne Ringsysteme mit dem schwarzen Büschel. Die Basis der Säule von 117,5° ist also die Ebene der optischen Axen, und ihre kurze Diagonale ist Mittellinie. Wir fanden die Brewster'sche Angabe, dass der Krystall positiv sei, bestätigt. Die optischen Axen für violette Strahlen liegen innerhalb der optischen Axen für rothe Strahlen, wie beim Topas.

Die Krystalle stellten sich, aufgehängt

nach α, mit $\varkappa$,
" $\varkappa$, " λ,
" λ, " $\varkappa$

äquatorial, wobei die Dimensionen derselben so gewählt wurden, dass die angenommenen Stellungen die entgegengesetzten von denjenigen waren, die sie in Folge der gewöhnlichen diamagnetischen Abstossung angenommen hätten; die Masse der Citronsäure wird nämlich von den Polen abgestossen, die magnetische Axenwirkung war sehr stark.

Eine schief aus einer Säule geschnittene Platte stellte sich, vertical aufgehängt, im Allgemeinen schief, ging aber bei einer Drehung gegen Diamagnetismus mit ihrer Fläche durch die axiale Lage hindurch. Der Krystall ist also in magnetischer Hinsicht ein negativer.

Die Citronsäure hat zwei magnetische Axen, die wie die optischen

liegen und abgestossen werden. Sie ist ein magnetisch negativer Krystall der vierten Art.

2. Arragonit.

Die Krystallform ist eine gerade Rhombensäule, deren Seitenflächen einen Winkel von 116° 16′ bilden. Die spitzen Kanten sind immer gerade abgeschnitten. Die vorkommenden Säulen sind gewöhnlich aus mehreren Krystallen mit gemeinschaftlicher Hauptaxe zusammengesetzt. Die Axe der Säule ist die Mittellinie der optischen Axen, deren Ebene durch die spitzen Kanten der Säule geht. Der Winkel der optischen Axen für die verschiedenen Farben ist durch Rudberg bestimmt worden. Für die Fraunhofer'schen Linien B und H findet er denselben gleich 19° 44′ 40″ und 20° 25′ 6″. Die Axen für rothe Strahlen liegen also innerhalb der Axen für violette Strahlen. Der Arragonit ist diamagnetisch.

Aus einer sechsseitigen Säule, die aus drei zusammengewachsenen Individuen bestand, deren Ansetzungsflächen man leicht erkannte, wurde nach vorläufigen Versuchen, die sehr entschiedene magnetische Axenwirkung gezeigt hatten, ein parallelepipedisches Stück geschnitten, dessen Kanten den drei krystallographischen Axen parallel waren, so dass $\alpha < \varkappa < \lambda$. Der Krystall stellte sich gegen die Wirkung des gewöhnlichen Diamagnetismus, aufgehängt

nach α, äquatorial mit $\varkappa$,
„ $\varkappa$, „ „ α,
„ λ, „ „ α.

Eine Platte ergab sich in magnetischer Hinsicht negativ.

Der Arragonit hat also zwei magnetische Axen, die abgestossen werden, und welche in derjenigen Ebene liegen, die durch die stumpfen Kanten der rhombischen Säule geht, und deren Mittellinie mit der Axe der Säule zusammenfällt. Der Arragonit ist ein magnetisch negativer Krystall der ersten Art.

3. Seignette-Salz.

Die sehr schönen und mannigfaltig ausgebildeten Krystalle verdanken wir der Güte des Herrn Warrington. Als Grundform nimmt man ein Prisma, dessen Seitenebenen den Winkel 79° 30′ einschliessen. Eine irgendwie hervortretende Spaltungsfläche wurde nicht beobachtet.

Wir wählten für unsere Zwecke diejenigen Krystalle aus, welche symmetrisch um die Axe der Säule ausgebildet waren und ein Mal als lange, gerade Säulen bis zu einer Länge von 35^{mm}, das andere

Mal als schöne Tafeln sich darstellten. An einer der längeren Säulen wurden (auf Glas mit Wasser) zwei Flächen angeschliffen, die der durch die spitzen Kanten der Grundsäule gehenden Ebene parallel waren. Durch diese Flächen sieht man im Polarisations-Mikroskope bei schicklicher Neigung das eine und andere Ringsystem sehr gut. Die Ebene der optischen Axen geht also durch die stumpfen Kanten der Säule von 79,5°, und ihre Mittellinie ist der kurzen Diagonale der Basis parallel. Die Axen für violette Strahlen bilden einen Winkel, der viel kleiner ist als der Axenwinkel für rothe Strahlen, was den Ringsystemen eine ganz abweichende Form giebt. Herschel, der bei diesem Salze zuerst die grosse Verschiedenheit der Axen für verschiedene Farben beobachtete, giebt für den ersten Winkel 56°, für den zweiten 76° an, Brewster bestimmte den Winkel für Strahlen mittlerer Brechbarkeit auf 80°. In homogenem Lichte erhält man vollkommen regelmässige Ringsysteme. Wir haben die Brewster'sche Angabe, dass der Krystall in optischer Hinsicht positiv sei, im Widerspruch mit der gegentheiligen Angabe bestätigt gefunden.

Das Seignette-Salz ist stark diamagnetisch. Ein Krystall in Tafelform, dessen Dimensionen $\alpha = 3{,}5^{mm}$, $\varkappa = 8^{mm}$, $\lambda = 11^{mm}$ waren, wurde zwischen den Polspitzen, deren Abstand 30^{mm} war, aufgehängt, erstens nach α und zweitens nach $\varkappa$. Er stellte sich beidemal wie ein gewöhnlicher diamagnetischer Körper mit λ äquatorial, aber bei einer Erhebung über die Linie der Pole im ersten Falle von 10^{mm}, im zweiten Falle von 12^{mm} warf sich der Krystall herum, als ob er magnetisch geworden wäre, so dass in beiden Fällen λ sich axial stellte. Nach λ aufgehängt, stellte sich der Krystall unten sowohl als in einer Erhebung von 60^{mm} wie ein diamagnetischer Körper, das heisst mit α axial. Die Aufhängung nach λ forderte hiernach eine Wiederholung. Zu diesem Ende wurde eine Säule mit vorherrschender Längenrichtung ausgewählt, für welche $\lambda = 8{,}5^{mm}$, $\varkappa = 3^{mm}$. Wenn $\alpha = 12^{mm}$, stellte sich bei einer Aufhängung genau nach λ bei jeder Erhebung, selbst bis zum Aufhören der Wirkung, fortwährend, in Uebereinstimmung mit dem gewöhnlichen Diamagnetismus $\varkappa$ genau axial. Ebenso auch dann noch, wenn $\alpha = 7$ und $\alpha = 5$ genommen wurde. Wurde aber α bis auf 4^{mm} verkürzt, so stellte sich zwischen den Polen der Krystall wie bisher, auch noch bei einer Erhebung von 30^{mm}, warf sich aber bei 40^{mm} gegen den gewöhnlichen Diamagnetismus herum, und von da an stellte sich α zwar schwach, aber doch entschieden von Pol zu Pol. Bei dieser letzten Aufhängung wurden 10 Grove'sche Elemente angewandt; vier waren nicht hinreichend.

Es folgt aus dem Vorhergehenden, dass die beiden magnetischen

Axen mit derjenigen krystallographischen Axe, welche durch die spitzen Kanten der Grundform geht, sehr nahe zusammenfallen, und sich nur wenig zu beiden Seiten derselben entfernen in einer Ebene, die der Basis der Säule parallel[6]) ist. Zugleich folgt, dass die beiden nahe zusammenfallenden magnetischen Axen angezogen werden.

Um dieses letzte Resultat direct zu bestätigen, wurde aus einem tafelförmigen Krystalle eine quadratische Säule geschnitten, die etwa doppelt so lang als dick war, und deren Axe ungefähr 45° mit der langen Diagonale bildete. Horizontal aufgehängt und dann um ihre Axe gedreht, machte sie, durch die axiale Lage hindurchgehend, zu beiden Seiten derselben Ausschläge, die 45° nicht überschritten.

Seignette-Salz ist also ein magnetisch positiver Krystall der dritten Art.

4. Anhydrit.

Krystallisirt in geraden rectangulären Säulen, parallel mit den Seitenflächen derselben vollkommen spaltbar, weniger vollkommen nach der Basis. Als Grundform nehmen wir mit Herrn Miller eine gerade rhombische Säule, welche dieselbe Basis hat, und deren Seitenflächen den Winkel 88° 50′ bilden. Die Ebene der beiden optischen Axen geht alsdann durch die beiden spitzen Kanten der Säule und fällt also mit der grösseren Seitenfläche der obigen geraden rectangulären Säule zusammen. Die Mittellinie zwischen den optischen Axen, welche einen Winkel von 43° 32′ einschliessen, fällt mit der Axe der Säule zusammen; die Axen für rothe Strahlen liegen ihr näher als die für violette. Wir fanden die Brewster'sche Angabe, dass der Krystall in optischer Hinsicht positiv sei, bestätigt.

Der Anhydrit ist stark diamagnetisch. Eine parallelepipedische Säule, durch Spaltungsflächen begrenzt, stellt sich

aufgehängt nach α, mit λ,
" " $\varkappa$, " λ,
" " λ, " $\varkappa$

äquatorial, und zwar auch dann, wenn die Säule in Folge des blossen gewöhnlichen Diamagnetismus in die entgegengesetzte Lage getrieben würde.

Eine Platte, die gegen eine optische Axe nahe senkrecht geschliffen war, stellte sich, wenn die Ebene der optischen Axen vertical war, gegen Diamagnetismus mit ihrer Fläche von Pol zu Pol, so dass die auf ihr senkrechte horizontale Axe äquatorial gerichtet war. Wurde die Platte um diese Axe gedreht, so wich sie, je nach dem Sinne der

Drehung, nach der einen oder anderen Seite von der axialen Lage ab. Anhydrit ist also in magnetischer Hinsicht negativ und gehört zu den magnetisch negativen Krystallen der sechsten Art.

5. Topas.

Die Grundform ist eine gerade Säule, deren Seitenflächen einen Winkel von 55° 41′ bilden. Die Basis der Säule ist vollkommene Spaltungsfläche.

Die optischen Axen liegen in der durch die stumpfen Kanten der Säule gehenden Ebene, und ihre Mittellinie ist die Axe der Säule. Die Axen für die rothen Strahlen liegen ausserhalb der Axen für die violetten Strahlen. Rudberg bestimmte den Winkel für die Fraunhofer'schen Linien *B* und *H* auf 55° 51′ und 54° 54′ in einer ungefärbten Varietät. Der Krystall ist, wie Brewster es angiebt, in optischer Hinsicht positiv.

Der Topas ist diamagnetisch. Bei Anwendung von 10 Trögen erhielten wir keine magnetische Axenwirkung; die gegentheiligen früheren Resultate rührten von beigemischtem fremden Eisen her.

B. Krystalle, die zum klinorrhombischen Systeme gehören.

Die Grundform dieser Krystalle ist eine über die kurze oder lange Diagonale der Basis verschobene rhombische Säule. Die durch die Diagonale, über welche verschoben worden ist, und die Axe der Säule gehende Ebene ist die symmetrische, und senkrecht auf ihr steht die Orthodiagonale. Die hierher gehörigen Krystalle zerfallen in optischer Hinsicht in zwei Gruppen. Bei den Krystallen der ersten Gruppe liegen die beiden optischen Axen in der symmetrischen Ebene, so dass die Orthodiagonale mit der mittleren Elasticitätsaxe zusammenfällt. Bei den Krystallen der zweiten Gruppe steht die Axe der grössten oder kleinsten Elasticität auf der symmetrischen Ebene senkrecht, so dass die jedesmaligen beiden übrigen Elasticitätsaxen in dieser Ebene liegen, und die Ebene der optischen Axen senkrecht auf ihr steht.

a. Krystalle, deren optische Axen in der symmetrischen Ebene liegen.

Das allgemeine Gesetz ist, dass hier die optischen Axen für verschiedene Farben in der symmetrischen Ebene in der Art eine verschiedene Lage haben, dass ihre Mittellinie nicht dieselbe ist. Im Allgemeinen müssen wir, um von den optischen Axen für eine Farbe zu denen für eine andere Farbe überzugehen, die ersten optischen Axen beide in der symmetrischen Ebene nach derselben Seite hin drehen

um Winkel, die nicht dieselben sind, während wir bei zweiaxigen Krystallen, welche die gerade rhombische Säule zur Grundform haben, die beiden ersten Axen nach entgegengesetzter Richtung um einen gleichen Winkel drehen müssen. Nach der Fresnel'schen Auffassungsweise kommt dieses darauf hinaus, anzunehmen, dass bei den früheren Krystallen für verschiedene Farben die Elasticitätsaxen sämmtlich ihre Richtung behalten, und nur ihre relative Grösse sich ändert; bei den Krystallen, die uns jetzt beschäftigen, aber nur die Axe der mittleren Elasticität ihre Richtung behält, während das System der beiden anderen in der symmetrischen Ebene sich dreht, und gleichzeitig auch die relative Grösse der Elasticitätsaxen sich ändert.

Die Ringsysteme, einzeln genommen, unterscheiden sich nicht von denen der abgehandelten zweiaxigen Krystalle. Wenn wir durch eine Drehung des Krystalles nach einander beide Ringsysteme in das Gesichtsfeld bringen, so stimmt in beiden die Aufeinanderfolge der Farben überein. Wir können hiernach aus der Lage der Axen für verschiedene Farben in dem einen Bilde auf die Lage der Axen in dem anderen Bilde schliessen, jedoch nicht unbedingt, da manche Ausnahmen stattfinden.

1. Schwefelsaures Eisenoxydul.

Es standen uns grosse Krystalle, die aus einer Mineralhandlung in Paris herrührten und sich dadurch auszeichneten, dass sie kein mechanisch beigemischtes Wasser enthielten und demnach sehr wenig verwitterten, zu Gebote.

Die Flächen der schiefen rhombischen Säulen bilden (nach Kopp) den Winkel 82° 21′, die Neigung ihrer Axe gegen die Basis ist 75° 40′. Die Ebene der Symmetrie geht durch die spitzen Kanten. Die Basis ist vollkommene Spaltungsfläche.

Die in der symmetrischen Ebene liegenden optischen Axen stehen, wie Brewster es zuerst angegeben hat, auf einander senkrecht. Die eine Mittellinie bildet mit der langen Diagonale der Basis nach dem spitzen Winkel derselben hin einen Winkel, den wir auf 75° schätzten; diese Mittellinie und die Axe der Säule bilden also in der symmetrischen Ebene mit der Normalen zur Spaltungsfläche auf entgegengesetzten Seiten nahe gleiche Winkel.

Der Fall, dass die beiden optischen Axen auf einander senkrecht stehen, bezeichnet den Uebergang von positiven zu negativen Krystallen. Die beiden Linien, welche die von den optischen Axen gebildeten Winkel halbiren, sind immer noch die Axen der grössten und kleinsten Elasticität. Um sie von einander zu unterscheiden, wurde aus einem Kry-

stalle eine Platte senkrecht gegen die eine optische Axe geschliffen und so in den Polarisationsapparat gebracht, dass der schwarze Büschel des Bildes in die ursprüngliche Polarisationsebene fiel, und zuvor ward an der Platte die Richtung derjenigen Mittellinie bestimmt, die der Normalen auf der Spaltungsfläche zunächst liegt. Zugleich wurde in den Polarisationsapparat eine Salpeterplatte gebracht, und dasjenige ihrer beiden Ringsysteme bestimmt, welches gegen ihre Mittellinie dieselbe Lage hatte, wie das Ringsystem im schwefelsauren Eisenoxydul gegen die oben näher bezeichnete Mittellinie. Wurde eine unter die beiden Platten gelegte Gypsplatte gedreht, so erweiterten und verengerten sich die Ringe in beiden Systemen immer auf derselben Seite. Da Salpeter bekanntlich ein negativer Krystall ist, so ist die Mittellinie zwischen seinen optischen Axen die Axe der grössten Elasticität: die oben bezeichnete Mittellinie im schwefelsauren Eisenoxydul ist also ebenfalls die Axe der grössten Elasticität. Die optischen Axen für rothe Strahlen liegen, der allgemeinen Norm entgegen, beide der grössten Elasticitätsaxe näher als die optischen Axen für violette Strahlen.

Das schwefelsaure Eisenoxydul ist stark magnetisch. Herr Faraday fand zuerst, dass die auf der vollkommenen Spaltungsfläche senkrechte gerade Linie eine Axe des Krystalles ist, die von den Magnetpolen angezogen wird, und beobachtete später bei einer Drehung des zwischen den Polen aufgehängten Krystalles Abweichung von der normalen Stellung.

Die Axenwirkung beim Eisenvitriol ist sehr stark, ein Fragment von beliebiger Form richtet sich immer so, dass die Axe der grössten Elasticität von Pol zu Pol geht. Durch zwei verschiedene Aufhängungen erhält man mit Sicherheit diese Axe; eine einzige Aufhängung reicht hin, um zu zeigen, wo man in dem Fragmente die Hauptspaltungsebene, die mit seiner Axe einen Winkel von 75° bildet, ungefähr zu suchen habe.

Wenn man eine Platte, die von vollkommenen Spaltungsflächen begrenzt ist, so aufhängt, dass die symmetrische Ebene senkrecht ist, so stellt sich die Platte so, dass die auf ihr senkrecht stehende gerade Linie von Pol zu Pol geht. Dreht man die aufgehängte Platte um diese Linie, so weicht diese von der axialen Lage ab. Diese Abweichung erreicht das Maximum von 15° nach einer Drehung von 90°, wo die symmetrische Ebene horizontal ist, und die Axe der grössten Elasticität sich von Pol zu Pol stellt. Bei einer fortwährenden Drehung nimmt die Abweichung wieder ab, ändert ihr Zeichen bei 180°, erreicht ihr zweites Maximum bei 270° und verschwindet wiederum bei 360°.

Wenn der Krystall insbesondere so aufgehängt ist, dass die Axe der grössten Elasticität senkrecht ist, so verschwindet jede magnetische Axenwirkung, und wenn er um die Drehungsaxe nicht symmetrisch ist, so richtet er sich wie ein gewöhnlich magnetischer Körper.

Das schwefelsaure Eisenoxydul hat eine einzige magnetische Axe. Diese Axe fällt mit der Axe der grössten Elasticität zusammen und wird angezogen.

2. Bernsteinsäure.

Wir verdanken Herrn Dr. Karl Stammer zwar kleine, aber sehr schöne, wasserhelle Krystalle, rhombische Säulen in Tafeln. Diese, nicht 1^{mm} dicken Tafeln, deren Seitenflächen eine Neigung von ungefähr 58° gegen einander hatten, waren scharf begrenzt und sind, ihrem optischen Verhalten nach, schiefe rhombische Säulen, aber nur so wenig verschoben, dass, wenn unter dem Mikroskope die Seitenflächen der Tafeln als gerade Linien erschienen, die Ebene der Tafeln von der horizontalen nicht merklich abwich. Beim Aufkitten einer Tafel zwischen Glas durch kanadischen Balsam zeigte dieselbe, indem sie sich theilte, eine sehr vollkommene Spaltung nach der kurzen Diagonale.

Die doppelbrechende Kraft der Bernsteinsäure ist ausserordentlich stark. Beim senkrechten Durchsehen durch die Platte bot sich im Polarisations-Mikroskope ein schönes, sehr feines regelmässiges Ringsystem dar. Auch beim Durchsehen durch ein Nicol'sches Prisma gegen einen schwarzen Glasspiegel zeigte sich ein schönes Bild, das, weil es grösser war, das Auseinandertreten der optischen Axen für verschiedene Farben, und zwar in derselben Ebene zeigte. Die Ebene der optischen Axen geht durch die stumpfen Kanten der Säule. Nach der Brewster'schen Angabe, dass der Winkel der optischen Axen 90° betrage, muss die zweite Axe mit der kurzen Diagonale der Platte zusammenfallen. Der Dünnheit der Platten wegen konnten wir das zweite Ringsystem nicht aufsuchen. Die beiden Axen der grössten und kleinsten Elasticität bilden hiernach mit der Normalen auf der Platte zu beiden Seiten Winkel von 45°. In Beziehung auf die Krystallform waren wir nicht im Stande, die Lage dieser beiden Axen zu unterscheiden. Mit Topas durch Hülfe einer dünnen Gypstafel verglichen, ergab sich, dass die Axe der kleinsten Elasticität auf der Seite der optischen Axe für rothe Strahlen, die Axe der grössten Elasticität auf der Seite der Axe für violette Strahlen zwischen der Normalen auf der Platte und ihrer kurzen Diagonale liegt.

Die Lage der optischen Axen für verschiedene Farben in dem zweiten Ringsysteme würde uns zu einem Schlusse über die Krystallform der Bernsteinsäure berechtigen; jetzt können wir nur so viel be-

haupten, dass, wenn diese eine schiefe rhombische Säule ist, die symmetrische Ebene derselben nothwendig durch die stumpfen Kanten derselben geht, und dann steht zu erwarten, dass die Axe der kleinsten Elasticität zwischen der auf der Platte senkrechten Axe der rothen Strahlen und der nahe in der Platte liegenden Axe für violette Strahlen liege.

Die Bernsteinsäure ist stark diamagnetisch und zeigt die magnetische Axenwirkung sehr stark.

Wenn erstens das vollkommen regelmässig ausgebildete Plättchen horizontal aufgehängt wurde, das heisst so, dass die Säulenaxe vertical war, so stellte sich die stumpfe Diagonale und mit ihr die Ebene der optischen Axen gegen gewöhnlichen Diamagnetismus äquatorial.

Wenn zweitens die kurze Diagonale mit der verticalen Umdrehungsaxe zusammenfiel, so stellte sich die lange Diagonale axial, die Ebene der beiden optischen Axen also äquatorial.

Wenn drittens die lange Diagonale mit der Umdrehungsaxe zusammenfiel, und also die Ebene der optischen Axen horizontal war, so stellte sich die Ebene der Platte unter einem Winkel, der auf 45° geschätzt wurde, schief gegen die äquatoriale und axiale Lage und zwar so, was wir später optisch untersuchten, dass diejenige Elasticitätsaxe, welche auf der Seite der beobachteten Axe für rothe Strahlen lag, also die kleinste, sich axial, die grösste Elasticitätsaxe mithin sich äquatorial einstellte.

Wenn endlich die aufgehängte Platte um ihre Axe gedreht wurde, und also die Aufhängung eine mittlere zwischen der zweiten und dritten war, so stellte sich die Platte bei geringerem Ausschlage zu beiden Seiten der axialen Lage. In magnetischer Hinsicht war also der Krystall ein negativer.

Endlich wurde noch eine 6^{mm} lange, 2^{mm} dicke Säule, deren Axe mit der Orthodiagonale zusammenfiel, die aber nicht durchsichtig war und aus einer anderen Quelle herrührte, in verschiedener Weise aufgehängt, wonach sich bestätigt fand, dass Bernsteinsäure magnetisch negativ ist, und zugleich, dass bei einer Aufhängung nach der grössten Elasticitätsaxe, der Krystall sich wie bei gewöhnlichem Magnetismus nur in Folge seiner Form richtete.

Die Bernsteinsäure hat also eine einzige magnetische Axe, die mit der Axe der grössten Elasticität zusammenfällt und abgestossen wird.

3. Kalium-Eisen-Cyanid.

Die symmetrische Ebene der schiefen rhombischen Säule geht durch die spitzen Kanten derselben, deren Winkel 76° 4′ ist. Die Axe der Säule bildet mit der Basis den Winkel 72° 27′.

Wenn man eine Platte senkrecht gegen die Axe der Säule schneidet, so sieht man unter dem Polarisations-Mikroskope beide Ringsysteme zugleich. Die Ebene der Axen, die nach Brewster einen Winkel von 19° 24′ bilden, fällt mit der symmetrischen Ebene zusammen. Die Mittellinie fällt mit der Axe der Säule zusammen. Die Axen für rothe Strahlen liegen beide ihr näher als die beiden Axen für violette Strahlen. In optischer Beziehung verhielt sich der Krystall vollkommen so, wie wenn seine Form eine gerade rhombische Säule wäre. Wir fanden den Krystall, wie Brewster es angiebt, positiv; mit Salpeter verglichen verhielt er sich gerade umgekehrt.

Rothes Blutlaugensalz ist sehr entschieden magnetisch und zeigt starke Axenwirkung. In Folge derselben richtet sich ein Fragment von beliebiger Form.

Eine Säule, die durch Wegnahme der scharfen Kanten zu einer sechsseitigen geworden, die 11^{mm} lang und nahe 4^{mm} dick war, richtete sich, wie sie auch horizontal aufgehängt wurde, mit ihrer Axe, im Gegensatze zu gewöhnlicher magnetischer Wirkung, äquatorial. Nach der Axe aufgehängt, stellte die symmetrische Ebene mit grosser Entschiedenheit sich äquatorial. Eine schief gegen die Säulenaxe geschnittene Platte, die vertical zwischen den Magnetpolen aufgehängt und dann so gedreht wurde, dass sie immer vertical blieb, zeigte, dass rothes Blutlaugensalz in magnetischer Hinsicht negativ ist.

Das Kalium-Eisen-Cyanid hat zwei magnetische Axen, welche die Axe der Säule zur Mittellinie haben und in einer Ebene liegen, die auf der symmetrischen Ebene senkrecht steht und demnach durch die stumpfen Kanten der Säule geht.[7])

Es ist klar, dass, wenn wir eine Abstossung zweier Richtungen, zweier magnetischer Axen, annehmen, die Wirkung dieser zweifachen Abstossung sich theilweise aufheben muss, wenn diese Axen in der Horizontalebene liegen, während die zweifache Wirkung dann sich einfach summirt, wenn die beiden magnetischen Axen in der Verticalebene sich befinden, und ihre Mittellinie insbesondere, wie bei der vorigen Aufhängung, in der Horizontalebene schwingt. Um diese Folgerung aus einer rein theoretischen Auffassungsweise zu bestätigen, ist das rothe Blutlaugensalz vollkommen geeignet. Die obige Säule, deren Seitenflächen gleichmässig ausgebildet waren, und deren Drehungsmoment hiernach bei jeder horizontalen Aufhängung nahe dasselbe war, wurde *erstens* so aufgehängt, dass die symmetrische Ebene vertical, also die Ebene der magnetischen Axen horizontal, *zweitens* so, dass die symmetrische Ebene horizontal, die Ebene der magnetischen Axen also vertical war. Beide Male stellte sich die Säule äquatorial. Wenn sie

aus dieser Lage des Gleichgewichts herausgebracht wurde, machte sie bei der ersten Aufhängung 64, bei der zweiten Aufhängung 77 Schwingungen in der Minute. Diesem entspricht, dass die richtenden Kräfte sich verhalten wie 1 : 1,41.

Kalium-Eisen-Cyanid verhält sich, was die Richtung und den Charakter der magnetischen Axen betrifft, gerade wie Arragonit.[7]) Beide Krystalle verhalten sich auch gleich in Beziehung auf die Lage der beiden optischen Axen, selbst mit Rücksicht auf die verschiedenen Farben. Ein doppelter Gegensatz ist aber vorhanden, einmal im magnetischen und diamagnetischen Verhalten der beiden Substanzen, das andere Mal darin, dass die eine in optischer Hinsicht positiv, die andere negativ ist.

4. Diopsid, Augit.

Die Grundform des Augits und insbesondere des Diopsids ist eine schiefe rhombische Säule, deren Seitenflächen einen Winkel von 92° 54′ bilden; der Neigungungswinkel ihrer Axe gegen die Basis ist 74° 1′. Die symmetrische Ebene geht durch die spitzen Kanten.

Bei allen Diopsid-Krystallen, die uns zu Gebote standen und theils wasserhell, theils grün gefärbt waren, wurden die ursprünglichen Seitenflächen durch Ebenen verdrängt, die die spitzen und stumpfen Kanten der Säule wegnahmen. Wenn eins der beiden Paare aufeinander senkrechter Seitenflächen der neuen Säule vorherrschend war, so war es immer dasjenige, welches auf der symmetrischen Ebene senkrecht stand. Die Spaltungsflächen der ursprünglichen Säule deuteten sich durch Sprünge immer noch deutlich an. Alle Diopsidkrystalle waren Zwillinge, die wir aus zwei einfachen Krystallen bestehend uns vorstellen können, welche den orthodiagonalen Hauptschnitt r gemeinsam haben, und von welchen der eine gegen den anderen um eine auf dieser Ebene senkrechte Axe um 180° gedreht ist.

Die optischen Axen liegen in der symmetrischen Ebene, die zwei Seitenflächen der rechteckigen Säule parallel ist und auf den vorherrschenden beiden anderen r senkrecht steht. Sie bilden nach Herrn Miller mit der Normalen auf der Fläche r die Winkel 80° 34′ und 21° 38′, und ihre Mittellinie bildet also mit derselben Normale den Winkel 51° 6′, während der von ihnen selbst gebildete Winkel 58° 56′ beträgt.*) Die Axen der rothen Strahlen liegen in beiden Systemen der Normalen auf r zugekehrt. Das eine Ringsystem sieht man

*) In der Pogg. Ann. Bd. 55 mitgetheilten Abhandlung, welcher diese Notizen entnommen sind, ist ersichtlich durch einen Druckfehler der Winkel zwischen Normale und Mittellinie auf 56° 6′ angegeben.

unmittelbar, wenn man durch die Fläche *r* hindurchsieht, das andere durch Flächen, die man senkrecht gegen die Axe der Säule anschleift. In dem letzten Ringsysteme scheint das Auseinandertreten der Ringe geringer als in dem ersten. Diopsid ist in optischer Hinsicht *positiv*. Die angegebene Zwillingsbildung wird durch das optische Verhalten bestätigt. Durch die Zusammensetzungsfläche *r* hindurchsehend, erblickt man in einem Zwillinge bei schicklicher Neigung, wenn die symmetrische Ebene mit der ursprünglichen Polarisationsebene zusammenfällt, zwei Bilder, geneigt gegen die Normale, dieser zunächst auf beiden Seiten die Axen für rothe Strahlen. Diese beiden Bilder sind mehrfach für die den beiden Axen des einfachen Krystalls entsprechenden Ringsysteme genommen worden, bis Herr Nörremberg den Irrthum berichtigte und die zusammengehörigen Bilder nachwies. Jener Irrthum brachte eine falsche Bestimmung der gegenseitigen Lage der Axen für verschiedene Farben mit sich.

Nur in dem seltenen Falle, dass die beiden Zwillingskrystalle senkrecht gegen ihre Ansetzungsfläche *r* gleich dick sind, sind die beiden durch diese Fläche gesehenen Ringsysteme gleich weit, und nur in diesem Falle ist der obige Irrthum zu entschuldigen. Wenn man den einen Zwillingskrystall parallel mit der Fläche *r* abschleift, so werden die Ringe des einen Systems immer weiter, bis sie zuletzt ganz verschwinden, während die Ringe des anderen Systems unverändert bleiben. Wenn auch diese anfangen, sich zu erweitern, sind wir sicher, einen einfachen Krystall vor uns zu haben. Die beiden Ringsysteme entsprechen derselben optischen Axe in den beiden Zwillings-Krystallen. So wenig wie das Bild in einem senkrecht gegen die Axe geschliffenen Doppelspathe gestört wird, wenn wir diesen auf einen, durch irgend zwei parallele Flächen begrenzten, beliebig dicken zweiten Doppelspath legen, dessen Hauptschnitt in die ursprüngliche Polarisationsebene fällt, ebensowenig stört der eine Zwillingskrystall das Bild in dem anderen. Drehen wir aber in dem einen Falle wie in dem anderen das System der beiden Krystalle um die optische Axe des Bildes, so verwischt sich dasselbe. Es bestätigt dieses optische Verhalten die Art der Zwillingsbildung, wie sie oben angegeben worden ist.

Der Diopsid ist magnetisch. Ein in der oben angegebenen Weise dargestellter einfacher Krystall, der mehr die Form einer rectangulären Platte hatte, begrenzt durch die Flächen *r*, wurde mit seiner Säulenaxe horizontal aufgehängt und nahm, um diese Axe gedreht, durch die äquatoriale Lage hindurchgehend verschiedene Stellungen zu beiden Seiten derselben an. Die magnetischen Axen des Diopsids werden also von den Magnetpolen *abgestossen*. Wenn bei dieser Aufhängung die

symmetrische Ebene vertical war, so stellte sich dieselbe genau in die äquatoriale Lage, woraus folgt, dass in dieser Ebene die beiden magnetischen Axen liegen. Zu derselben Folgerung gelangen wir auch daraus, dass die symmetrische Ebene dann, wenn die Säule mit ihrer Axe senkrecht aufgehängt wird, sich ebenfalls in die äquatoriale Lage stark herumwirft. Die Säule wurde endlich so aufgehängt, dass die symmetrische Ebene horizontal war, die Fläche *r* also vertical. Alsdann stellte sie sich so, dass der Perpendikel auf die Platte mit der äquatorialen Lage einen Winkel bildete, der nahe 46° war. Wenn der Krystall um 180° gedreht wurde, erfolgte nach der anderen Seite ein Ausschlag von nahe 47°. Auf optischem Wege wurde ermittelt, dass diejenige Richtung, welche in beiden Fällen sich axial stellte, nach derselben Seite, wie die Mittellinie zwischen den optischen Axen lag und also mit dieser, die mit der Normalen den Winkel 51° 6′ bildete, als nahe zusammenfallend zu betrachten ist.

Es ist noch zu bemerken, dass, wenn durch einen Commutator die Polarität des Elektromagneten geändert wird, eine mit der Säulenaxe horizontal aufgehängte Diopsidplatte in die entgegengesetzte Lage herumgeworfen wird; ein Beweis von der magnetischen Coërcitivkraft des Krystalls.

Wenn wir statt eines einfachen Krystalls einen Zwilling aufhängen, so ändert sich in seiner Stellung zwischen den Magnetpolen durchaus nichts, wenn die symmetrische Ebene senkrecht ist, sei es, dass überdies die Axe der Säule senkrecht ist, oder dass sie in der Horizontalebene schwingt. Wenn aber die symmetrische Ebene horizontal ist, so nimmt die Richtkraft ab, und das Maximum des Ausschlages, den die Säule zu beiden Seiten der äquatorialen Lage macht, ist kleiner als früher und veränderlich von einem Zwilling zum andern. Es wurde insbesondere ein solcher Krystall gewählt, der aus zwei in der Dicke wenig von einander verschiedenen einfachen Krystallen bestand, und in welchem man die Ansetzungsflächen deutlich unterscheiden konnte. Das Maximum des Ausschlages betrug etwa noch 12° nach der einen und der anderen Seite. Der dickere Krystall wurde hierauf abgeschliffen, bis er die gleiche Dicke mit dem anderen erhielt, und der Zwilling stellte sich nun, wie erwartet wurde, dann, wenn die symmetrische Ebene horizontal war, wie überhaupt in jeder Aufhängung, bei der die Säulenaxe horizontal schwang, immer genau äquatorial.

Der Diopsid ist ein in magnetischer Hinsicht negativer Krystall; seine beiden Axen haben die Mittellinie der optischen Axen zu der ihrigen und liegen in derselben Ebene.

Augit, welcher in mineralogischer Hinsicht mit Diopsid zusammen-

gehört, und von dem vollständige kurze Säulen, mit sogenannter augitischer Zuschärfung, vom Laacher See und den Liparischen Inseln, untersucht wurden, verhielt sich wie Diopsid und war nur noch stärker magnetisch. Nur müssen die Versuche mit derjenigen Vorsicht angestellt werden, welche die ungemein grosse Coërcitivkraft dieses Minerals erheischt, das heisst es darf, wenn wir einen sehr starken Magneten anwenden, dasselbe den Polen nicht zu nahe gebracht werden. Eine Säule dieses Krystalls, deren Zuschärfungen zur Herstellung einer mehr symmetrischen Form fortgenommen waren, 11^{mm} lang, beinahe ebenso breit und 7^{mm} dick, blieb, zwischen den genäherten Polspitzen aufgehängt, in jeder Stellung stehen, in welche man sie brachte und in der man sie eine kurze Zeit festhielt. In Folge der starken Coërcitivkraft behält ein solcher Krystall später seine magnetische Polarität auch fern vom Magneten; er richtet sich mit seiner Säulenaxe im Allgemeinen schief gegen den magnetischen Meridian in Folge des blossen Erdmagnetismus.

5. Essigsaures Kupferoxyd.

Die symmetrische Ebene geht durch die spitzen Kanten der schiefen rhombischen Säule. Der Winkel an diesen Kanten beträgt 72°, der Winkel, den die Axe der Säule mit der Basis bildet, 63°. Die Krystalle sind nach den Flächen der Grundform spaltbar. (Kopp.)

Wir verdanken zwar kleine, aber sehr schöne, bei nicht zu grosser Dicke durchsichtige Krystalle der Güte des Herrn Dr. C. Stammer. Die einfachsten derselben waren durch die Flächen der Grundform begrenzt und bildeten entweder Säulen oder Platten. In den Platten war entweder eine Seitenfläche der Säule vorherrschend oder die Basis. In diesem letzteren Falle waren sie sowohl für die optischen, als auch für die magnetischen Bestimmungen vollkommen geeignet. Sie unterscheiden sich von den anderen Platten im Polarisations-Apparate unmittelbar dadurch, dass sie, bei gekreuzten Spiegeln, dann die grösste Dunkelheit geben, wenn eine derjenigen beiden geraden Linien, welche ihre Winkel halbiren, in die ursprüngliche Polarisationsebene fällt.

Essigsaures Kupferoxyd ist in ausgezeichneter Weise dichromatisch. Wenn im Polarisationsapparate die erste und zweite Polarisationsebene zusammenfallen, so zeigen die fraglichen Platten bei etwa 1^{mm} Dicke entweder eine tiefblaue Farbe (der des Kupfervitriols ähnlich, nur etwas mehr nach dem Violetten hin) oder eine schöne pistaziengrüne, jenachdem die symmetrische Ebene auf der ursprünglichen Polarisationsebene senkrecht steht oder mit derselben zusammenfällt.

In dem dunklen Felde des Polarisations-Mikroskopes zeigte die Platte ähnliche isochromatische Curven wie eine etwas dicke Glimmer-

platte unter denselben Verhältnissen, und wenn die symmetrische Ebene der Platte mit der ersten Polarisationsebene zusammenfällt, bei einer geringen Neigung ein schönes System von mehr Ringen als gewöhnlich — dem Bilde im monochromatischen Lichte hierin sich annähernd. Wir können hiernach den Winkel der optischen Axen annäherungsweise zu 15° annehmen. Diese Axen liegen in der symmetrischen Ebene, und ihre Mittellinie steht, wie es scheint, nach der Richtung der Säulenaxe abgelenkt, nahezu auf der Basis senkrecht. Der tiefen Färbung des Krystalls wegen liessen verschiedene Farben im Bilde sich nicht unterscheiden. Es ist derselbe in optischer Beziehung positiv.*)

Dieselbe Platte, welche zu den vorstehenden Bestimmungen gedient hatte, etwa 1^{mm} dick und von der Form eines Rhombus von 10^{mm} Seitenlänge, verhielt sich magnetisch, offenbar in Folge von beigemischtem Eisen. Erstens horizontal aufgehängt, zweitens so, dass die kurze und drittens so, dass die lange Diagonale vertical war, stellte sich die Platte immer gegen den Magnetismus der Form und zwar bei der ersten Aufhängung mit der symmetrischen Ebene, bei den anderen Aufhängungen mit der Basis sehr entschieden äquatorial. Hierauf wurde eine andere natürliche Platte, durch parallele Seitenflächen der Grundform begrenzt, vertical aufgehängt: in ihrer Ebene gedreht, nahm sie, durch die axiale Lage hindurchgehend, im Allgemeinen schiefe Stellungen an. In magnetischer Hinsicht ist also essigsaures Kupferoxyd *negativ. Die beiden magnetischen Axen liegen in der Ebene der Basis, deren lange Diagonale ihre Mittellinie ist.*

Zur Erregung des Magnetismus war zu diesen Bestimmungen die Anwendung von zwei oder drei Grove'schen Elementen vollkommen hinreichend.

6. Essigsaures Bleioxyd.

Die symmetrische Ebene geht durch die spitzen Kanten der schiefen rhombischen Säule. Der Winkel in diesen Kanten beträgt 52°, der Winkel, den die Axe der Säule mit der Basis bildet, 70° 28′ (**Kopp**).

*) Wir bedienen uns gewöhnlich, um zu bestimmen, ob ein Krystall in optischer Hinsicht positiv oder negativ sei, eines Gypsblättchens, welches noch so dick ist, dass es keine Farben zwischen den Polarisationsspiegeln giebt, und legen dasselbe in dem Soleil-Amici'schen Polarisations-Mikroskope unmittelbar unter der Sammellinse auf. Wir finden dieses Verfahren, wenigstens überall da, wo die Ringe nicht sehr gross sind, der Anwendung eines Glimmerblättchens vorzuziehen, welches schon so dünn ist, dass es keine Farben mehr giebt und etwa, wie Herr Dove es verlangt, eine Verzögerung von 1/4 Wellenlänge des einen durchgehenden Strahles gegen den anderen hervorbringt.

Diejenigen Krystalle, die uns zu Gebote standen und dem Handel entnommen wurden, waren, durch Ausbreitung der Basis nach einer oder nach beiden Dimensionen entstanden, entweder Säulen oder Platten. Die Säulen hatten, ausser der Basis der Grundform, Ebenen, welche auf der symmetrischen Ebene senkrecht stehen und die spitzen Kanten der Grundform fortnehmen, zu Seitenflächen. (Der spitze Kantenwinkel dieser abgeleiteten Säule ist also demjenigen Winkel gleich, den die Axe der Grundform mit der Basis derselben bildet.) Essigsaures Bleioxyd ist nach den Seitenflächen der fraglichen abgeleiteten Säule spaltbar.

Man sieht die beiden Ringsysteme, wenn man annäherungsweise senkrecht gegen die Spaltungsflächen hindurchsieht. Brewster bestimmt den Winkel der beiden optischen Axen zu 70° 25′. Uns erscheint diese Angabe zu gross. Auch fanden wir den Krystall optisch *positiv*, während der genannte Physiker (nach Herschel) ihn als *negativ* bezeichnet.

Nach dem Vorstehenden ist die symmetrische Ebene die Ebene der beiden optischen Axen. Für verschiedene Farben weichen diese Axen sehr weit von einander ab. In Folge davon sehen die beiden Bilder im Polarisationsapparate den Bildern beim Seignettesalz sehr ähnlich, nur mit dem wesentlichen Unterschiede, dass, während bei dem letztgenannten Salze die Axen für violette Strahlen der Mittellinie zunächst liegen, hier im Gegentheile die beiden Axen für rothe Strahlen mit derselben den kleinsten Winkel bilden.

Die Mittellinie der Axen für die verschiedenen Strahlen ist anscheinend dieselbe, und somit haben wir das gleiche optische Verhalten, wie bei Krystallen, deren Grundform die gerade rhombische Säule ist.

Bei der grossen Abweichung in der Richtung der optischen Axen für verschiedene Farben liegen dieselben genau in derselben Ebene, was abgesehen davon, dass es die allgemeine Regel ist, hier sehr deutlich darin sich zeigt, dass bei gekreuzten Spiegeln, wenn die ursprüngliche Polarisationsebene mit der symmetrischen Ebene zusammenfällt, jedes der beiden Bilder in der Mitte einen sehr scharf gezeichneten schwarzen Strich in der genannten Ebene zeigt.

Die Masse des Salzes ist diamagnetisch. — Als eine der beschriebenen abgeleiteten Säulen vertical aufgehängt wurde, so dass also die symmetrische Ebene horizontal war, stellte sich mit Entschiedenheit die die stumpfen Kantenwinkel halbirende Ebene von Pol zu Pol, die Linie der grössten Elasticität also äquatorial. Wurde dieselbe Säule, die etwa doppelt so lang als dick war, mit ihrer Axe horizontal in

der Weise aufgehängt, dass die Basis der Grundform vertical war, so stellte sie sich zwischen den Polspitzen wie ein rein diamagnetischer Körper, warf sich aber bei einer Hebung, gegen den Diamagnetismus, mit ihrer Axe in die axiale Lage herum, so dass die symmetrische Ebene äquatorial gerichtet war. War aber bei der horizontalen Aufhängung der Säule die Basis ebenfalls horizontal, so zeigte sich erst dann eine schwache Axenwirkung, nachdem die Säule verkürzt, und ihre Dimension nach der Axe nur noch sehr wenig überwiegend war.

Aus einer der oben erwähnten Platten wurde eine Säule geschnitten, deren Axe schief gegen die symmetrische Ebene lag. Diese stellte sich, horizontal aufgehängt und um ihre Axe gedreht, durch die *äquatoriale* Lage hindurchgehend im Allgemeinen schief. Die magnetische Axenwirkung ist *negativ.*

b. Krystalle, deren optische Axen in einer Ebene liegen, die auf der symmetrischen Ebene senkrecht steht.

Das allgemeine Gesetz ist, dass hier für verschiedene Farben die Ebene der beiden optischen Axen verschiedene Lagen hat. Die Mittellinie zwischen diesen Axen liegt entweder in der symmetrischen Ebene oder steht auf ihr senkrecht. Diejenige (grösste oder kleinste) Elasticitätsaxe, welche auf der symmetrischen Ebene senkrecht steht, bleibt dieselbe für alle Farben, während bei den unter a. zusammengestellten Krystallen die mittlere Elasticitätsaxe immer dieselbe ist. Während beim Uebergange von einer Farbe zur anderen die Ebene der beiden Axen um die Normale auf der symmetrischen Ebene sich dreht, ändert sich im Allgemeinen auch der Winkel der beiden optischen Axen, indem diese jener Normalen sich annähern oder sich von ihr entfernen. Die Richtungen, welche nach einander jede der beiden optischen Axen in verschiedenfarbigem Lichte annimmt, liegen, annäherungsweise wenigstens, in derselben Ebene. Wir wollen, weil diese Auffassung ein neues Wort verlangt, diese Ebene die *Dispersionsebene der optischen Axe nennen.* Den beiden Axensystemen entsprechend, giebt es solcher Dispersionsebenen zwei, die bei den Krystallen unserer Gruppe mit der Ebene der beiden (mittleren) optischen Axen gleiche Winkel bilden und die symmetrische Ebene nach derselben Richtung schneiden.

Wenn, wie bei den bisher untersuchten Krystallen, bei einer Aenderung der Farbe keine Drehung der Ebene der beiden optischen Axen stattfindet, so fallen natürlich die beiden Dispersionsebenen mit der eben genannten Ebene zusammen. Bei den nun in Rede stehenden Krystallen bilden jene Ebenen mit dieser einen (spitzen) Winkel, der

um so grösser wird, je mehr die Drehung der Ebene der Axen für verschiedene Farben überwiegend ist in Beziehung auf die Aenderung des von den beiden optischen Axen eingeschlossenen Winkels. Bleibt dieser Winkel für alle Farben derselbe, so stehen die beiden Dispersionsebenen auf der Ebene der beiden optischen Axen senkrecht, wie dies zum Beispiel beim unterschwefligsauren Natron der Fall ist.

Wenn man nach der Richtung einer der beiden (mittleren) optischen Axen durch einen Krystall bei gekreuzten Spiegeln des Polarisationsapparates hindurchsieht, so erkennt man in dem Bilde sogleich die fragliche gegenseitige Lage der Axen für verschiedene Farben.*) Nehmen wir zum Beispiel eine Platte des eben genannten Salzes, die senkrecht gegen eine (mittlere) optische Axe geschnitten ist, und bringen diese Platte in eine solche Lage, dass die Ebene der Axen mit der ursprünglichen Polarisationsebene zusammenfällt, so treten die mehr oder weniger brechbaren Farben zu den beiden Seiten des schwarzen Büschels auf, und das Bild ist in Beziehung auf eine auf dem Büschel senkrecht stehende gerade Linie symmetrisch. Drehen wir die Platte in ihrer Ebene, so dreht sich zugleich das Büschel um denselben Winkel, aber nach *entgegengesetzter* Richtung, während die Dispersionsebene um denselben Winkel nach *derselben* Richtung sich dreht. Bei einer Drehung von 45° fällt also die Mittellinie des Büschels in die Dispersionsebene und theilt das Bild in zwei symmetrische Hälften, wie es bei den bisher betrachteten Krystallen bei der ursprünglichen

*) Wir müssen mit Vorsicht zu Werke gehen, wenn wir aus der Art und Weise, wie die Farben im Bilde auftreten, auf die Lage der Axen für die verschiedenen Farben schliessen wollen. Wenn die Färbung (wie beim Gypse, in dem Falle, dass die Ebene der optischen Axen mit der ursprünglichen Polarisationsebene zusammenfällt) in Beziehung auf die Mittellinie des Büschels symmetrisch ist, so liegt nach derjenigen Seite hin, wo die etwa blau-violette Färbung auftritt, auch die Axe für die Strahlen von gleicher Farbe; wenn aber die blauviolette Färbung an einer der beiden Seiten des Büschels sich hinzieht (in dem Falle, dass wir die obige Gypsplatte in ihrer Ebene um 45° drehen), so liegt umgekehrt die entsprechende optische Axe nach der entgegengesetzten Seite. Das Ausführlichere muss einer besonderen Ausführung überlassen bleiben.

Bei der Schätzung der Grösse der Dispersion dürfen wir nicht ausser Acht lassen, dass, wie auch die Dicke der Platte zunehmen mag — wobei die Ringsysteme in erster Annäherung sich so zusammenziehen, dass ihre Dimensionen umgekehrt wie die Quadratwurzeln aus den Dicken der Platten sich verhalten[8]) — in Folge der Dispersion der optischen Axen die verschiedenen Farben in dem Bilde immer *gleich weit* auseinander treten. Bei zunehmender Dicke der Platte verkleinert sich nicht bloss das Bild, sondern es erleidet auch in Beziehung auf Färbung eine wesentliche Aenderung, und man erkennt zum Beispiele in dem Bilde einer dünnen Gypsplatte das Bild einer dicken gleichgeschnittenen nicht wieder.

Lage, wo die Polarisationsebene und die Ebene der optischen Axen zusammenfallen, der Fall ist. Bei einer Drehung von 90° erscheint das frühere Bild wieder, nur um denselben Winkel in seiner Ebene gedreht.

Wenn die beiden Dispersionsebenen mit der Ebene der beiden (mittleren) optischen Axen irgend einen Winkel φ bilden, so müssen wir die Krystallplatte von der obigen Normallage aus nach gehöriger Richtung um den Winkel $\frac{1}{2}\varphi$ drehen, wenn in Beziehung auf die Mittellinie des schwarzen Büschels die Farben symmetrisch liegen sollen, und um $(90^0 - \frac{1}{2}\varphi)$, wenn die Farben von grösserer und geringerer Brechbarkeit zu beiden Seiten derselben der Länge nach sich hinziehen sollen. Um 90° weiter gedreht, erhalten wir überhaupt immer dasselbe Bild, nur ebenfalls um diesen Winkel gedreht. Der Winkel φ lässt sich hieraus leicht mit einiger Genauigkeit bestimmen.*)

Bei den Krystallen unserer Gruppe sind nothwendig die beiden Ringsysteme in Beziehung auf Färbung einander vollkommen gleich, was bei den unter a. betrachteten Krystallen nicht der Fall ist, wie es zum Beispiel beim Gyps beobachtet wurde.

1. Unterschwefligsaures Natron.

Die symmetrische Ebene geht durch die stumpfen Kanten der rhombischen Säule, deren Seitenflächen den spitzen Winkel von 35° 36′ einschliessen, und deren Axe mit der Basis einen Winkel von 76° 2′ bildet. Die scharfen Seitenkanten der Grundform werden durch Flächen, welche der symmetrischen Ebene parallel sind, weggenommen. Der Winkel der optischen Axen, deren Mittellinie auf der symmetrischen Ebene senkrecht steht, beträgt nahe 80°, und ihre Ebene bildet mit der Basis der rhombischen Säule einen Winkel von nahe 31° und mit

*) Nennen wir den halben Winkel, den die beiden mittleren optischen Axen mit einander bilden, n, die Aenderung, welche dieser Winkel für eine extreme Farbe erleidet, δ, die Drehung, welche die Ebene der optischen Axen für diese Farbe erhält, d, so ist ein sphärisches Dreieck bestimmt, in welchem die Seite $(n + \delta)$, der Winkel d, die Seite n und der fragliche Winkel φ vier auf einanderfolgende Stücke sind. Demnach ist

$$\operatorname{cotg} \varphi = \frac{\operatorname{cotg}(n + \delta) \sin n - \cos d \cos n}{\sin d},$$

und wenn wir höhere Potenzen von δ und d vernachlässigen, ergiebt sich:

$$\operatorname{cotg} \varphi = -\frac{\delta}{d} \cdot \frac{1}{\sin n},$$

mithin

$$\operatorname{tang} \varphi = -\frac{d}{\delta} \cdot \sin n .$$

deren Axe einen Winkel von nahe 45°. Der Winkel der optischen Axen ist für die verschiedenen Farben derselbe. Die Ebene derselben bildet mit der Basis der Grundform für rothe Strahlen einen grösseren Winkel als für die stärker brechbaren Strahlen. Unterschwefligsaures Natron ist in optischer Hinsicht *positiv*.

Die Masse des Salzes ist stark diamagnetisch.

Es standen uns sehr schöne, vollkommen wasserhelle Krystalle in Säulen von etwa 40^{mm} Länge und 6^{mm} Dicke zu Gebote. Zum Behuf der Untersuchung über die magnetische Axenwirkung wurde einer solchen Säule eine Länge von 10^{mm} gegeben, und ihr senkrechte Basen mit Wasser auf Glas angeschliffen. Der Abstand der Polspitzen betrug 25^{mm}. Wenn die Säule zwischen denselben so aufgehängt wurde, dass die Axe derselben vertical war, so stellte sich die symmetrische Ebene axial und zwar bei einer späteren Wiederholung auch dann noch, wenn diese Stellung dadurch, dass die spitzen Kanten noch mehr fortgenommen wurden, als sie es von Natur schon waren, mit der rein diamagnetischen Wirkung im Widerspruche stand.

Bei einer horizontalen Aufhängung stellte sie sich, sowohl wenn die symmetrische Ebene vertical, als auch wenn sie horizontal war, in Uebereinstimmung mit Diamagnetismus, zwischen den Polen äquatorial, warf sich aber bei einer Erhebung von nicht 20^{mm} beidemal mit Entschiedenheit in die axiale Lage herum.

Endlich wurde noch, um zu entscheiden, ob das unterschwefligsaure Natron in magnetischer Hinsicht positiv oder negativ sei, aus einer Säule gegen deren Axe unter einem Winkel von nahe 45° und senkrecht zu der symmetrischen Ebene eine Platte geschnitten. Diese Platte stellte sich bei verticaler Aufhängung, wenn die Axe der Säule in der Verticalebene lag, genau in die äquatoriale Lage; wurde sie aber, bei fortwährend verticaler Aufhängung, gedreht, so wich sie von dieser Lage ab und zwar dann am meisten (nach dem Augenscheine um 45°), wenn die Axe der Säule horizontal war.

Aus dem Vorstehenden ziehen wir die Folgerung, *dass das unterschwefligsaure Natron zwei positive magnetische Axen hat, die in der symmetrischen Ebene liegen und zu ihrer Mittellinie die Axe der Säule haben.*

2. Borax.

Der spitze Winkel der Seitenflächen der schiefen rhombischen Säule beträgt 87°, die Axe bildet mit der Basis einen Winkel von 73° 25′. Die symmetrische Ebene geht durch die spitzen Seitenkanten der Säule.

Die Mittellinie der optischen Axen steht auf der symmetrischen

Ebene, die zugleich Spaltungsfläche ist, senkrecht.′ Die Ebene der Axen bildet mit der Basis einen Winkel von nahe $18\frac{1}{2}^{0}$, mit der Säulenaxe einen Winkel von 55^{0}. Eine durch Spaltungsflächen begrenzte Platte zeigt bei geringer Neigung die beiden Ringsysteme. Wir fanden durch eine solche Platte, die eine Verwechslung der Lage der beiden Bilder gegen einander nicht zuliess, dass der Krystall in optischer Hinsicht sich *negativ* verhält, was auch die Herren Tyndall und Knoblauch neuerdings bestätigt haben, während Brewster den Krystall als positiv bezeichnet und zugleich als Winkel der optischen Axen $28^{0}\ 42'$ angiebt.*) Dieser Krystall lieferte das erste Beispiel davon, dass die Ebene der optischen Axen für verschiedene Farben verschiedene Lagen hat. Da die beiden Bilder sich ganz gleich verhalten, so begnügten wir uns mit der näheren Untersuchung eines derselben und schliffen zu diesem Ende eine Platte senkrecht gegen eine optische Axe. Wenn dann bei gekreuzten Spiegeln die Ebene der optischen Axen mit der ursprünglichen Polarisationsebene zusammenfiel, so traten die Farben im Bilde unregelmässig vertheilt auf, und wir mussten die Platte in ihrer Ebene um 30^{0} so drehen, dass die ursprüngliche Polarisationsebene einen spitzeren Winkel mit der Basis bildete, als die Ebene der optischen Axen, damit die Mittellinie des Büschels das Bild in zwei symmetrische Hälften theilte. Der Winkel, den wir früher φ genannt haben, ist hiernach 60^{0}, und wenn wir um diesen Winkel in demselben Sinne wie früher drehen, so fällt die Dispersionsebene mit der ursprünglichen Polarisationsebene zusammen, und der Durchschnitt dieser Ebene mit der symmetrischen Ebene giebt diejenige Richtung, wodurch beide Dispersionsebenen gleichmässig bestimmt sind. Nach dem Vorstehenden finden wir für die Winkel, welche diese Richtung mit der Axe der Säule und der Basis bildet, bezüglich ungefähr 114^{0} und $40\frac{1}{2}^{0}$.

Ueberdies ist, wie es schon Herr Herschel angegeben hat, der Winkel der Axen für rothe Strahlen grösser als für violette. Als weitere Folge ergiebt sich hieraus endlich, dass die Ebene der Axen für rothe Strahlen einen kleineren Winkel mit der Basis bildet, als für violette.

*) Herr Herschel bezeichnet (in der französischen Ausgabe seiner Optik) nach Brewster den künstlichen Borax als positiv, den natürlichen als negativ. Im Supplementbande von Baumgartner's Naturlehre und in später erschienenen Handbüchern werden *beide* als positiv bezeichnet. Es sind aber *beide negativ*. Beim natürlichen Borax (Tinkal) wird von Brewster der Winkel um $10^{0}\ 6'$ grösser angegeben. Wir finden so wenig in der Lage der Bilder als in der Lage der Axen für die verschiedenen Farben irgend eine merkliche Abweichung.

Borax ist diamagnetisch.

Eine durch Umkrystallisiren erhaltene kleine Tafel war durch Spaltungsflächen begrenzt und zeigte unmittelbar die beiden Ringsysteme. Nach der Lage dieser Ringsysteme wurde die gerade Linie bestimmt und eingeritzt, in welcher die Ebene der Axen auf der Platte senkrecht stand. Da der Krystall in optischer Hinsicht negativ ist, so bezeichnete die auf die Platte eingeritzte Linie die Richtung der kleinsten Elasticität. Senkrecht darauf und ebenfalls in der Ebene der Platte war die Linie der mittleren Elasticität, und endlich senkrecht auf der Ebene der Platte die Linie der grössten Elasticität.

Wenn diese Platte erstens so aufgehängt wurde, dass die Linie der grössten Elasticität vertical (die Platte also horizontal), und zweitens so, dass die Linie der mittleren Elasticität vertical war, so stellte sich beidemal gegen den gewöhnlichen Diamagnetismus die Linie der kleinsten Elasticität axial. Aufgehängt nach dieser Linie der kleinsten Elasticität, stellte sich die Platte wie ein gewöhnlicher diamagnetischer Körper.

Wir überzeugten uns, dass bei dieser letzten Aufhängung überhaupt keine Axenwirkung stattfand, indem wir eine Säule schliffen, deren Axe mit der Linie der grössten Elasticität zusammenfiel, und nach der Richtung dieser Axe allmählich verkürzten, bis wir zuletzt eine der vorigen ähnliche Platte erhielten. Bei der fraglichen Aufhängung stellte die Säule sich anfänglich mit ihrer Axe äquatorial, zuletzt axial, aber lediglich nur in Folge der grösseren und kleineren Dimension nach dieser Axe.

Aus den fraglichen drei Aufhängungen ergiebt sich, dass Borax *eine einzige magnetische Axe hat, die mit der kleinsten Elasticitätsaxe zusammenfällt und von den Magnetpolen angezogen wird.*

Wir sind vollkommen berechtigt, sogleich eine magnetische Axen-*Anziehung* anzunehmen. Denn in Folge der beiden ersten Aufhängungen würde sich für den Fall der Abstossung ergeben, dass die Mittellinie zwischen den magnetischen Axen in der Ebene der grössten und mittleren Elasticität läge. Im Widerspruche hiermit ist aber die dritte Aufhängung, nach welcher diese Mittellinie, horizontal schwingend, sich in keiner Weise richtet. Es wurde aber dennoch zur Bestätigung des Gesagten eine Platte schief gegen die Hauptschnitte des Krystalls geschnitten und, vertical aufgehängt, in ihrer Ebene gedreht, wobei sie, im Allgemeinen schief sich stellend, durch die äquatoriale Lage hindurchging.

3. Essigsaures Natron.

Die Seitenebenen der rhombischen Säule bilden den Winkel von $84\frac{1}{2}^{0}$, die Axe derselben ist gegen die Basis um $68^{0}\,16'$ geneigt. Die symmetrische Ebene geht durch die spitzen Seitenkanten.

Die Ebene der optischen Axen steht, wie die Basis, auf der symmetrischen Ebene senkrecht und bildet mit dieser einen Winkel von $11^{0}\,9'$ und mit der Axe der Säule einen Winkel von $57^{0}\,7'$. Die Mittellinie zwischen den beiden optischen Axen, deren Winkel $62^{0}\,50'$ beträgt, liegt, indem sie durch die spitzen Seitenkanten der Grundform geht, in der symmetrischen Ebene (Miller). Das essigsaure Natron ist optisch *negativ*. Eine verschiedene Lage der optischen Axen für verschiedene Farben wurde nicht beobachtet; jedenfalls ist die Abweichung ihrer Richtung nicht gross.

Die Masse ist stark diamagnetisch.

Zur Untersuchung der magnetischen Axenwirkung wurde eine rhombische Säule mit den Flächen der Grundform vorgerichtet, in der keine Dimension besonders vorwaltete.

1. Die Axe vertical aufgehängt, stellte sich die symmetrische Ebene genau äquatorial.

2. Wenn die Axe horizontal und die symmetrische Ebene vertical war, stellte sich diese Ebene, wie eben, äquatorial.

3. Wenn die symmetrische Ebene horizontal war, so stellte sich die auf ihr senkrecht stehende Ebene der optischen Axen, mithin die Mittellinie zwischen denselben, oder die Linie der grössten Elasticität, äquatorial.

Die beiden letzten Aufhängungen beweisen, dass essigsaures Natron in Beziehung auf magnetische Axenwirkung *negativ* ist, und zu entscheiden bleibt nur noch, ob dasselbe *eine* magnetische Axe habe, die alsdann mit der Richtung der grössten Elasticität zusammenfallen würde, oder *zwei* magnetische Axen. Zu diesem Ende müsste eine Platte senkrecht gegen die optische Mittellinie geschnitten und horizontal aufgehängt werden. Die uns noch übrig gebliebenen Krystalle waren aber zu diesem Versuche nicht geeignet.

C. Krystalle, die zum triklinischen Systeme gehören.

Die Ebene und Mittellinie der optischen Axen steht in keiner bisher nachgewiesenen Beziehung zur Krystallform. Für verschiedene Farben ändert sich im Allgemeinen sowohl die Ebene, als auch die Mittellinie der optischen Axen. Die Dispersionsebenen für die beiden optischen Axen bilden im Allgemeinen verschiedene Winkel mit der

Ebene der grössten und kleinsten Elasticität, in der beide (mittlere) Axen liegen.

Wenn nicht, wie beim Cyanit, eine oder mehrere entschiedene Spaltungsflächen vorhanden sind, so scheint es am natürlichsten, die Lage der magnetischen Axen zu bestimmen, indem wir sie von vorne herein auf die drei Elasticitätsaxen beziehen, und zu dem Ende den magnetisch zu untersuchenden Krystall durch Flächen zu begrenzen, die auf diesen Axen senkrecht sind.

1. Cyanit.

Eine grössere Anzahl von Cyanit-Krystallen wurde aus Stufen von Campolongo gebrochen, in denen sie, wie gewöhnlich, zugleich mit Staurolith vorkamen. Einige derselben hatten eine gelbliche Farbe, die von einem Ueberzuge von Eisenoxyd herrührte und verschwand, nachdem die Krystalle, was immer geschah, mit Salzsäure behandelt worden. Die Krystalle waren theils einfache Säulen, theils Zwillinge, die, obgleich verschiedenartig gebildet, dennoch sämmtlich mit ihrer vollkommensten Spaltungsfläche zusammengesetzt waren. Die Seitenflächen der schiefen rhombischen Säule, die als Grundform des Cyanites zu betrachten ist, wollen wir P, M und T nennen, wobei M die Ebene der vollkommensten Spaltbarkeit sei; alsdann sind die Winkel der Säule folgende:

$$P : M = 100^{0}\,50', \quad P : T = 93^{0}\,15', \quad M : T = 106^{0}\,15'.$$

Eine Beobachtung an Zwillingskrystallen erleichterte die Bestimmung der Lage der optischen Axen gegen die Krystallform. Im senkrecht gegen die Zusammensetzungsfläche durchgehenden Lichte zeigen nämlich gewisse dieser Zwillinge dann, wenn der Polarisationsapparat für sich Dunkelheit giebt, sehr schöne zugeordnete Hyperbeln, deren gemeinsame Asymptoten bezüglich mit der Axe der Säule zusammenfallen und auf ihr senkrecht stehen. Bei gleicher Dicke der Zwillingsindividuen waren die Asymptoten vollkommen schwarz, während sie bei einer Verschiedenheit der Dicke gefärbt erschienen und eine der Hyperbeln schwarz war. Man kann hierin die Erscheinung zweier gekreuzter mit der optischen Axe parallel geschliffener Bergkrystallplatten oder zweier gekreuzter, durch natürliche Spaltungsflächen begrenzter Gypsplatten nicht verkennen, und somit stellte sich die Spaltungsfläche M als ein gemeinschaftlicher Hauptschnitt der beiden Zwillingsindividuen dar. Beim senkrechten Durchsehen durch die Spaltungsflächen eines einfachen Krystalles wurde die grösste Dunkelheit beobachtet, wenn der Krystall so gedreht wurde, dass eine gerade Linie, die die

Seitenkanten der Säule unter einem Winkel von etwa 35° in der Art schneidet, dass sie, durch die stumpfe Ecke der Basis gelegt, ausserhalb des an dieser Ecke liegenden (nahe rechten) Winkels der Spaltungsfläche liegt, mit der ersten Polarisationsebene zusammenfiel oder auf ihr senkrecht war. In der obigen Voraussetzung, dass die Spaltungsfläche ein Hauptschnitt des Krystalles ist, folgt also, dass die oben bezeichnete Linie, die auf ihr senkrecht stehende und ebenfalls in der Spaltungsfläche befindliche, und endlich die auf dieser Ebene senkrechte Linie die drei Elasticitätsaxen sind. Zuerst wurden die optischen Axen in der Spaltungsfläche gesucht, und zu diesem Ende nach der Axe der Säule zwei parallele Flächen angeschliffen, die auf dieser Spaltungsfläche des Krystalls senkrecht standen. Aber sowohl senkrecht, als auch bei geneigter Lage der Säulenaxe durch diese Flächen hindurchsehend, fanden wir keine Spur eines Ringsystems, das wir, wenn es vorhanden gewesen wäre, bei dem bekannten Axenwinkel nothwendig hätten finden müssen. Die Voraussetzung aber, dass die Spaltungsfläche ein Hauptschnitt sei, fand darin ihre Bestätigung, dass der Krystall dann die grösste Dunkelheit zeigte, wenn die Axe der Säule in die erste oder zweite Polarisationsebene des Apparates fiel. (Aus dieser Thatsache an und für sich folgt bloss, dass die Projectionen der optischen Axen auf die angeschliffenen Flächen gleiche Winkel mit der Säulenaxe bilden.)

Nach dem Vorstehenden waren die beiden optischen Axen nur noch in einer auf der Spaltungsfläche senkrechten Ebene zu suchen, welche diese Fläche entweder in der oben bestimmten geraden Linie oder in einer Geraden, die auf dieser senkrecht steht, schneidet. Ein unter dem Polarisationsmikroskope möglichst schief geneigtes, sehr dünnes, durch die Spaltungsflächen *M* begrenztes Plättchen liess nach einander das jeder der beiden Axen entsprechende Ringsystem erkennen und zeigte, indem es zugleich den von Brewster angegebenen Winkel der optischen Axen von 81° 48′ als den richtigen erscheinen liess, dass die Mittellinie zwischen diesen Axen auf der Spaltungsfläche senkrecht steht. Es wurde hierauf ein Krystall senkrecht gegen eine der beiden in dem Vorhergehenden bestimmten optischen Axen geschliffen. Es zeigte sich das erwartete Bild in der Mitte des Gesichtsfeldes mit einer solchen Färbung, die eine wenig verschiedene Lage der optischen Axen für die verschiedenen Farben anzeigte. Wir erwarten noch bessere Krystalle, um diese verschiedene Lage mit Rücksicht auf die Krystallform zu bestimmen und die Angabe von Brewster zu bestätigen, dass der Krystall ein optisch positiver ist, und demnach die Axe der kleinsten Elasticität auf der Spaltungsfläche senkrecht steht.

Ehe wir weiter gehen, kommen wir nochmals auf die Art der Zwillingsbildung, über welche das optische Verhalten der Krystalle uns Aufschluss giebt, zurück.

Es fiel uns anfänglich auf, dass augenscheinliche Zwillingskrystalle mit einspringendem Winkel, deren beide Individuen dieselbe Dicke hatten, die conjugirten Hyperbeln *nicht* zeigten, während von der anderen Seite auch solche Krystalle, die sich auf den ersten Blick von einem einfachen Krystalle nicht unterscheiden liessen, solche Hyperbeln gaben.

Bald aber stellte sich mit Bestimmtheit heraus, dass die Zwillingsbildung bei unseren Cyaniten eine dreifache war, die wir durch eine Drehung von 180° des einen Krystalles gegen den anderen um drei verschiedene Axen versinnlichen können, nämlich:

1) um die Normale auf der Hauptspaltungsfläche,
2) um die Axe der Säule,
3) um eine Linie in jener Spaltungsfläche, die auf der Axe der Säule senkrecht ist.

Der Zwilling hat im ersten Falle zwei einspringende Winkel, deren Kanten den Seiten (MT und MP) der Spaltungsfläche M parallel sind. Da die optischen Axen für die beiden Individuen dieselben sind, so können sich hier die fraglichen conjugirten Hyperbeln niemals zeigen. Im zweiten Falle ist nur ein einspringender Winkel vorhanden, dessen Kante PM ist, so dass bei mangelnden Endflächen der Zwilling das Ansehen eines einfachen Krystalles hat. Im dritten Falle existirt wiederum nur ein einspringender Winkel und zwar nach der Länge der Säule. In den beiden letzteren Fällen bilden die beiden auf der gemeinschaftlichen Spaltungsfläche senkrecht stehenden Ebenen der optischen Axen mit einander einen Winkel von etwa 70°, wodurch das Auftreten der Hyperbeln bedingt wird.

Ein Zwillingskrystall der zweiten Art, der die Hyperbeln sehr schön zeigte, liess bei näherer Betrachtung die Ansetzungsfläche erkennen und sich in zwei einfache Krystalle trennen. Indem wir die Spaltungsfläche beibehielten und den einen Krystall gegen den anderen um 180° drehten, erhielten wir den dritten Fall und nach wie vor Hyperbeln. Diese verschwanden aber, und wir erhielten die Zwillingsbildung der ersten Art, wenn wir den einen Krystall umklappten um eine Linie, die in der Spaltungsfläche liegt und auf der Axe der Säule senkrecht steht.

So ausgezeichnet beim Cyanit die magnetische Axenwirkung sich zeigt, so ergeben sich doch für die Bestimmung derselben grosse Schwierigkeiten, die einestheils in den bei diesem Mineral gewöhnlich vorkommenden, oben besprochenen Zwillingsbildungen, vorzüglich aber darin ihren Grund haben, dass Krystalle aus demselben Muttergesteine, auch

nach Fortschaffung eines zufälligen Ueberzuges von Eisenoxyd, sich bald sehr stark magnetisch, bald entschieden diamagnetisch verhalten, so dass dieses verschiedene Verhalten sich sogar oft an denselben Individuen zeigt. Vor Allem sind also solche Krystalle auszuwählen, deren magnetisches oder diamagnetisches Verhalten ganz entschieden hervortritt. Die Krystalle, welche stark gefärbt sind, verhalten sich in der Regel auch stark magnetisch, die wasserhellen meistens diamagnetisch, mitunter jedoch auch magnetisch, so dass wir also aus der Färbung allein nicht unbedingt auf magnetisches oder diamagnetisches Verhalten schliessen können.

Es wurde ein einfacher Krystall von bläulicher Farbe, eine Säule 8^{mm} lang, 4^{mm} breit und $2\frac{1}{2}^{mm}$ dick, genommen, und auf den breiten Seitenflächen (den Spaltungsflächen) diejenige Linie, in welcher sie von der Ebene der optischen Axen, die auf ihr senkrecht steht, geschnitten wurde, durch eine Diamantspitze eingeritzt. Diese Linie bezeichnete also die Richtung der grössten Elasticität, während die Linie der kleinsten Elasticität auf der Spaltungsfläche senkrecht stand.

Horizontal aufgehängt und um ihre Axe gedreht, stellte sich die Säule, durch die axiale Lage hindurchgehend, im Allgemeinen schief: Cyanit ist in magnetischer Hinsicht *positiv.*

Senkrecht gegen die Spaltungsfläche M aufgehängt, stellte sich der Krystall mit der Ebene der optischen Axen axial: die Mittellinie zwischen den magnetischen Axen liegt also in dieser Ebene. Zur vollständigen Bestimmung dieser Mittellinie ist eine zweite Aufhängung hinreichend. Wir hingen die Säule senkrecht gegen ihre Axe*) auf. Die Ebene, welche sich axial stellte (V), wich von derjenigen, welche die spitzen Seitenkanten-Winkel halbirte, nur um wenige Grade in dem Sinne ab, dass der spitze Winkel φ, den sie mit der Spaltungsfläche bildete, grösser war. Dieser Winkel war mit einiger Genauigkeit schwerer zu messen, als aus einer gleich zu erwähnenden Beobachtung zu berechnen. Wurde der Krystall horizontal so aufgehängt, dass die Ebene V vertical war, so stellte er sich, der Erwartung gemäss, genau axial. Wenn aber diese Ebene horizontal war, so wich die Axe der Säule am meisten von der Linie der Polspitzen ab, und der Winkel dieser Abweichung liess sich mit Genauigkeit bestimmen; er betrug $42\frac{1}{3}^{0}$, wobei sich, wenn der Krystall in der Horizontalebene um 180^{0} herumgeworfen wurde, sowie wenn er, um 180^{0} um seine Axe gedreht, den Ausschlag nach entgegengesetzter Seite machte, keine Differenz ergab. Dieser Winkel (α) ist derjenige, den die magnetische Mittellinie mit der Axe der Säule bildet.

*) [Gemeint ist wohl: so, dass ihre Axe vertical war.]

Endlich wurde noch der Krystall mit der Säulenaxe gegen den Horizont geneigt so aufgehängt, dass die Mittellinie zwischen den magnetischen Axen vertical war: der Krystall richtete sich, wie in allen Aufhängungen, mit grosser Energie und hat also zwei magnetische Axen. Statt die Lage der Ebene dieser beiden Axen, die dadurch gegeben ist, dass sie die axiale Lage annimmt, direct zu bestimmen, maassen wir den Winkel, den die durch die Axe des Krystalls gehende Verticalebene mit der axialen bildete, und fanden für denselben annäherungsweise 75°.

In demjenigen rechtwinkligen sphärischen Dreiecke, das durch die Säulenaxe, die magnetische Mittellinie und den Durchschnitt der Spaltungsfläche und der Ebene der optischen Axen bestimmt wird, ist die Hypotenuse $\alpha = 42\frac{1}{3}^0$, und die eine der beiden Katheten $\beta = 35^0$. Für die andere Kathete γ ergiebt sich hieraus $25\frac{1}{2}^0$ und für den gegenüberliegenden Winkel, den wir oben φ genannt haben, $39\frac{4}{5}^0$. Ziehen wir den Winkel γ von 90^0 ab, so erhalten wir $64\frac{1}{2}^0$ als denjenigen Winkel, welchen in der optischen Axenebene, nach den spitzen Seitenkanten hin gerechnet, die magnetische Mittellinie mit der optischen bildet. Endlich findet man in dem obigen Dreieck für den der Kathete β gegenüberliegenden Winkel, den wir ω nennen wollen, $58^0\ 24'$, und wenn wir diesen Winkel von dem gemessenen Winkel 75^0 abziehen, denjenigen, welchen die Ebene der magnetischen und die Ebene der optischen Axen mit einander bilden. Dieser Winkel ist so zu bestimmen, dass die erstgenannte Ebene den beiden stumpfen Ecken der Grundform näher liegt als die letztgenannte. Somit ist die magnetische Axenbestimmung vollständig.

Die magnetische Axenwirkung war bei dem einfachen Cyanitkrystall ganz ungewöhnlich stark; zwischen den Polspitzen aufgehängt, blieb er unverändert in derselben Stellung auch dann, wenn durch Unterbrechung des Stromes im Eisenkerne als Residuum nur ein Minimum von Magnetismus blieb, und selbst dann noch, wenn er durch Aufwickelung des Coconfadens, der ihn trug, bedeutend gehoben wurde. Dies brachte Plücker auf den Gedanken, ob nicht der Erdmagnetismus schon hinreichend sei, die Cyanitsäule in Folge der magnetischen Axenwirkung zu richten. Die Erwartung wurde vollkommen bestätigt. Und so bildet diese Säule, wenn sie an einem doppelten Coconfaden in einer Schleife horizontal unter Glas aufgehängt wird, eine Deklinationsnadel, die sich aber nur dann in den magnetischen Meridian stellt, wenn diejenige Ebene, die wir eben durch V bezeichnet haben, vertical ist, eine Deklinationsnadel, *die wir bei einer gehörigen Drehung um ihre Axe richten können nach jedem beliebigen Punkte des Horisontes* bis zu

einer Abweichung vom magnetischen Meridiane, welche östlich oder westlich bis an $42^1/_3{}^0$ betragen kann, die wir also insbesondere auch genau nach dem geographischen Norden zeigen lassen können.

Der Krystall wurde, nachdem er zwischen den Polspitzen aufgehängt gewesen war, unter einen Glaskasten gebracht und sich selbst überlassen; er behielt seine Richtkraft, obwohl eine Abnahme derselben nach einigen Tagen verspürt wurde. Die magnetische Axenwirkung ist also im Cyanitkrystalle fixirt, wie die gewöhnliche magnetische Wirkung im gehärteten Stahle. Es lag die Frage nahe, ob der Krystall erst durch die Nähe des inducirenden Elektromagneten die Eigenschaft erhält, dass er durch den Erdmagnetismus sich richtet. Dass diese Frage nicht unbedingt zu bejahen ist, folgt daraus, dass mehrere Krystalle, die, soviel bekannt, einem Magnete nicht nahe gekommen waren, sich unmittelbar richteten, so dass bei ihrer Bildung wahrscheinlich schon der Erdmagnetismus wirksam gewesen war.

Wenn durch Hülfe des Commutators die Polarität des Elektromagneten umgekehrt wird, so wirft sich der zwischen den Polspitzen in irgend einer Lage aufgehängte Cyanitkrystall um 180° herum. Es ist dieses ein neuer Beweis dafür, dass die inducirte magnetische Axenwirkung auch mit dem Aufhören der Induction noch eine Zeitlang fortdauert.

Endlich erwähnen wir noch des folgenden Versuches. Ueber oder unter einem Kupferdraht, durch welchen ein galvanischer Strom ging, wurde der Cyanitkrystall mit dem Drahte parallel an einem Coconfaden aufgehängt; er stellte sich im Allgemeinen schief gegen den Draht, unter einem Winkel, den man nach dem Oersted'schen Fundamentalversuch vorhersagen kann, wenn man vorher diejenige Richtung im Krystall bestimmt hat, die, der jedesmaligen Aufhängung entsprechend, sich in den magnetischen Meridian stellt, und diese Richtung der Axe der Magnetnadel in jenem Versuche substituirt.

Nach der obigen Bestimmung der magnetischen Axen des einfachen Cyanitkrystalles können wir die magnetischen Erscheinungen, wie sie sich bei den verschiedenartigen Zwillingen, die aus einfachen Individuen von nahe gleicher Dicke bestehen und überdies magnetisch sind, mit Sicherheit voraussagen. Diese Voraussagungen haben wir grossentheils bei unseren Krystallen bestätigen können. Wir sind hiernach im Stande, *durch den Magneten* an Zwillingen *die Art der Zwillingsbildung zu bestimmen*, indem wir uns durch das Nachstehende hierbei leiten lassen. Wir gehen von der Anschauung aus, dass im Allgemeinen ein solcher Zwilling, zwischen den Polspitzen aufgehängt, sich wie ein einfacher Krystall verhält, der zu seinen magnetischen Axen die beiden

Mittellinien zwischen den magnetischen Axen der beiden Zwillings-Individuen hat.

Ein Zwilling der ersten Art mit zwei einspringenden Winkeln verhält sich wie ein einfacher Krystall mit zwei magnetischen Axen, die in der Ebene der optischen Axen liegen, mit einander einen Winkel von 51° bilden, und deren Mittellinie in der Spaltungsfläche liegt. Vertical aufgehängt, stellt er sich mit der Spaltungsfläche axial.

Ein Zwilling der zweiten Art ohne einspringenden Seitenkanten-Winkel verhält sich so, als ob die beiden Axen, mit einander einen Winkel von $84\frac{2}{3}$° bildend, die Axe der Säule zur Mittellinie hätten und in derjenigen Ebene lägen, welche in beiden Individuen, wenn sie einzeln nach der Säulenaxe aufgehängt werden, sich übereinstimmend axial stellen würde.

Ein Zwilling der dritten Art, ohne einspringenden Winkel an der Basis, verhält sich wie ein einfacher Krystall, dessen Mittellinie in einer auf der Spaltungsfläche senkrechten Ebene (U) liegt und mit der letztgenannten Ebene einen Winkel von 30° 13′ bildet. Die Ebene der magnetischen Axen, die einen Winkel von 62° 24′ bilden, steht ebenfalls auf der Ebene U senkrecht.

Einen geeigneten Krystall, der zugleich *einfach* und *diamagnetisch* war, konnten wir uns zu unserem Bedauern nicht verschaffen.

2. Schwefelsaures Kupferoxyd.

Die Winkel der Grundform sind:

$$P:M = 51^\circ 23' \ (52^\circ 20' \text{ Kopp})$$
$$P:T = 70^\circ 28'$$
$$M:T = 55^\circ 58' \ (56^\circ 50' \text{ Kopp}).$$

Die eine (M) der drei Seitenflächen ist, nahe wenigstens, ein Rechteck und daran leicht erkenntlich. Eine optische Axe ist den Kanten PM parallel. Die Ebene der beiden optischen Axen steht auf der Fläche P senkrecht; in dieser senkrechten Ebene bildet die zweite optische Axe mit der ersten einen Winkel von 45°. Die hierin noch liegende Zweideutigkeit in der Bestimmung dieser Axe wird dadurch gehoben, dass sie ausserdem in derjenigen sehr gewöhnlich vorkommenden Fläche liegt, welche die stumpfe Kante MT der Grundform fortnimmt und wenig nur von derjenigen Linie abweicht, welche in derselben die stumpfen Winkel halbirt. Für verschiedene Farben weicht die Lage der optischen Axen wenig ab. Kupfervitriol ist in optischer Hinsicht ein *negativer* Krystall.

Die von uns untersuchten Krystalle waren magnetisch, offenbar

in Folge von beigemischtem Eisen. Zur Bestimmung der magnetischen Axenwirkung bedienten wir uns solcher Krystalle, die wir selbst hatten anschiessen lassen, und in welchen die Basis der Grundform vorherrschend war. Aus einem solchen Krystall wurde eine quadratische Säule geschnitten, die zu Seitenflächen die Basis und die Ebene der optischen Axen hatte, so dass also die eine optische Axe (PM), welche wir die *erste* nennen wollen, mit der Richtung der Säulenaxe zusammenfiel. Wenn diese Säule irgendwie horizontal aufgehängt wurde, so stellte sich ihre Axe axial in Uebereinstimmung mit dem Magnetismus der Masse, behielt aber bei dieser Aufhängung auch gegen Magnetismus diese Stellung dann noch bei, als sie später durch Verkürzung der Axenrichtung in eine Platte umgeformt worden war. Als die Säule vertical aufgehängt wurde, bildete die Ebene der optischen Axen einen Winkel von 63° mit der axialen Ebene, während diese einen Winkel von 27° mit der Basis und von 24° 23′ mit der Fläche M bildete. Bei einer Umkehrung der Säule ergab sich dieselbe Abweichung von 27° nach entgegengesetzter Seite von der Axialebene.

Um zu entscheiden, ob der Krystall in magnetischer Hinsicht positiv oder negativ war, wurde aus ihm eine kurze Säule geschnitten, deren Axe in der Basis lag und mit der ersten optischen Axe einen Winkel von etwa 30° bildete. Horizontal aufgehängt, stellte sie sich, wenn sie um ihre Axe gedreht wurde, durch die axiale Lage hindurchgehend, im Allgemeinen schief. Der Krystall verhielt sich sonach *positiv*.

Schwefelsaures Kupferoxyd hat also zwei positive magnetische Axen, welche die erste optische Axe zur Mittellinie haben, und deren Ebene, wenn wir uns dieselbe durch die spitzen Kanten (PM) der Basis gehend denken, mit der Basis P einen Winkel von 27°, mit der Fläche M einen Winkel von 24° 23′ bildet.

3. Doppelt-chromsaures Kali.

Die Winkel der Grundform, die durch Ebenen vollkommener Spaltbarkeit bestimmt ist, sind

$$P:M = 85^0$$
$$P:T = 90^0$$
$$M:T = 84^0.$$

Die eine optische Axe, welche wir die erste nennen wollen, steht auf der Fläche M senkrecht, die Ebene der beiden optischen Axen auf der Kante MT. Die zweite optische Axe bildet mit der ersten einen Winkel von 45° nach der Richtung der spitzen Seitenkanten hin. Aus dem der ersten Axe entsprechenden Ringsystem ersehen wir, dass die

Dispersionsebene für diese Axe mit der Ebene der beiden optischen Axen zusammenfällt, wie es z. B. beim Gypse stattfindet. Ausserdem ergiebt sich, dass für violette Strahlen die Axe der Mittellinie näher liegt als für rothe. Die Dispersionsebene für die zweite Axe steht auf der Ebene der beiden optischen Axen senkrecht, in der Art, dass die Axe für violette Strahlen nach dem spitzen Kantenwinkel der Basis sich hinneigt. Doppelt-chromsaures Kali ist in optischer Hinsicht ein *positiver* Krystall.

Das fragliche Salz ist schwach magnetisch, wobei es noch unentschieden bleibt, ob das magnetische Verhalten demselben eigenthümlich sei, oder von beigemischtem Eisen herrührt.

Wir sind nicht im Stande gewesen, die magnetische Wirkung auf doppelt-chromsaures Kali auf die Anziehung oder Abstossung zweier *gleichwerthiger* magnetischer Axen zurückzuführen, obgleich die Axenwirkung sehr entschieden und bei den vielen in dieser Hinsicht untersuchten Krystallen in constanter Weise hervortrat. Die Mittheilung einiger Beobachtungen wird dieses bestätigen.

Wenn eine durch Spaltungsflächen P begrenzte Platte von beliebiger Form horizontal aufgehängt wird, so stellt sich diejenige Linie, welche den Nebenwinkel der optischen Axen halbirt, also die Linie der grössten Elasticität, von Pol zu Pol.

Wir stellten aus einer solchen 10^{mm} dicken Platte einen Würfel her, dessen Kanten der kleinsten, grössten und mittleren Elasticitätsaxe, die wir als die Coordinatenaxen x, y, z betrachten wollen, parallel waren. Der Würfel wurde nach einander nach diesen drei Axen in der bezeichneten Folge aufgehängt und stellte sich dann so, dass die durch folgende Gleichungen dargestellten Ebenen mit der axialen Verticalebene zusammenfielen:

$$z = y; \quad x = z \cdot \operatorname{tang} 15^0; \quad x = 0.$$

Diese drei Ebenen, für welche sich genau dieselben auch dann ergaben, wenn bei den drei Aufhängungen Oben und Unten vertauscht wurden, schneiden sich aber nicht in derselben geraden Linie, was doch der Fall sein müsste, wenn, wie bei allen von uns bisher untersuchten Krystallen, zwei gleichwerthige Axen, die von den Polen angezogen werden, vorhanden wären. In analoger Weise folgt aus denselben drei Aufhängungen, dass die Annahme zweier gleichwerthigen, von den Polen abgestossenen magnetischen Axen unstatthaft ist.

Wir richteten ferner eine annäherungsweise kreisförmige Platte vor, 5^{mm} dick und 11^{mm} im Durchmesser und wiederum durch P-Flächen begrenzt. Horizontal aufgehängt, verhielt sich dieselbe dem Früheren

entsprechend, bei verticaler Aufhängung nahm sie im Allgemeinen eine schiefe Stellung ein. In dem besonderen Falle aber, dass eine Linie V, welche mit der Mittellinie der optischen Axen (kleinsten Elasticitätsaxe) nach der *ersten* Axe hin einen Winkel von 52° bildete, vertical war, stellte sie sich äquatorial, während, wenn die Linie V horizontal war, die Platte nach der einen oder anderen Seite von der äquatorialen Lage am meisten, nämlich 54° abwich. In der Voraussetzung zweier gleichwerthigen positiven magnetischen Axen müsste in Gemässheit der horizontalen Aufhängung die Mittellinie derselben in der Ebene der grössten und mittleren Elasticität, die auf der Platte senkrecht steht, liegen. Aus den verticalen Aufhängungen würde folgen, dass diese Mittellinie in derjenigen Ebene liegt, die, auf der Ebene der Platte senkrecht stehend, diese Platte in der Linie V schneidet. Die magnetische Mittellinie wäre also selbst senkrecht auf der Platte, und diese müsste sich immer äquatorial stellen.

Ein ähnlicher Widerspruch würde auch dann bleiben, wenn wir zwei gleichwerthige negative magnetische Axen annehmen wollten.

Wenn die bisher angewandte Bestimmungsweise, ob ein Krystall in magnetischer Hinsicht positiv oder negativ sei, auch hier noch ihre Gültigkeit behalten soll, so müssen wir doppelt-chromsaures Kali als *positiv* betrachten. Es folgt dieses aus den verticalen Aufhängungen der kreisrunden Platte, sowie auch aus den horizontalen Aufhängungen einer vierseitigen Säule, begrenzt durch natürliche Spaltungsflächen, deren Dimension nach MP nahe doppelt so gross war, als nach MT und PT. Im Allgemeinen stellte sich die Säule schief, bei bestimmter Aufhängung axial.

Das magnetische Verhalten des doppelt-chromsauren Kali erklärt sich also nicht aus der Annahme zweier *gleichwerthiger* magnetischer Axen. Wir werden versucht, dies mit dem oben erörterten verschiedenen Verhalten der beiden optischen Axen in Verbindung zu bringen.[9])

Nachtrag zur ersten Versuchsreihe.

I. Einaxige Krystalle.

a. Deren Grundform die sechsseitige Säule ist.

14. Schwefelsaures Kali.

Wir erhielten sehr schöne Krystalle von der Form zum Theil ganz regelmässiger sechsseitiger Säulen ohne abgeleitete Flächen, von denen wir bloss wussten, dass sie sich zufällig aus einer Seifensiederlauge gebildet hatten. Die Säulen gaben, wenn man nach der Axe

durchsah, ein schönes Ringsystem, welches zeigte, dass der Krystall in optischer Beziehung *positiv* ist. Die Substanz derselben war diamagnetisch. Eine senkrecht gegen die Säulenaxe geschnittene Platte stellte sich, vertical aufgehängt, mit ihrer Axe gegen Diamagnetismus äquatorial. Diese Axe wird also *abgestossen*. Herrn Dr. Bödeker verdanken wir die chemische Bestimmung des untersuchten Salzes. (Schwefelsaures Kali ist bekanntlich dimorph.)

b. Deren Grundform die quadratische Säule ist.

10. Honigstein.

Er zeigte ein schönes Bild und verhielt sich in optischer Beziehung negativ. Er ist diamagnetisch, und seine optische Axe wird *angezogen*.

II. Zweiaxige Krystalle.

a. Deren Grundform die gerade rhombische Säule ist.

6. Staurolith.

Der spitze Kantenwinkel beträgt 50° 40′; gewöhnlich sind die stumpfen Ecken der Endflächen, oft zugleich auch die spitzen Seitenkanten fortgenommen. Wir schliffen, zum Behufe der optischen Bestimmung, aus einem St. Gotthard-Krystall Plättchen nach verschiedenen Richtungen, die, wenn sie nur etwa $0{,}5^{mm}$ dick waren, hinlängliche Durchsichtigkeit erhielten. Ein solches Plättchen, das senkrecht gegen den die Axe und die lange Diagonale enthaltenden Hauptschnitt geschliffen war und mit dieser Axe einen Winkel bildete, den wir nicht mehr messen konnten, der *annäherungsweise* aber 45° betrug, zeigte beim senkrechten Durchsehen im Polarisationsmikroskope ein sehr schönes Ringsystem. Die beiden optischen Axen liegen hiernach mit der Axe der Säule und der langen Diagonale in einerlei Ebene, und der von ihnen gebildete Winkel weicht wenig von einem rechten ab. Um über die Lage der Mittellinie zu entscheiden, wurde eine Platte genau unter 45° geschliffen. Sie zeigte das Bild in der Mitte des Gesichtsfeldes, wenn sie um 2°—3° geneigt wurde, wobei die durchgehenden Strahlen sich der Säulenaxe näherten. Diese ist also die Mittellinie zwischen den beiden optischen Axen, deren Winkel wir auf 85° schätzen. Wie beim Topas liegen für violette Strahlen die optischen Axen der Mittellinie zunächst. Die Säulenaxe ist die Linie der kleinsten Elasticität, und folglich der Krystall in optischer Hinsicht *positiv*.

Der Staurolith ist magnetisch. Dieselbe Platte, welche zur optischen Bestimmung des Krystalls gedient hatte, wurde vertical zwischen

den Magnetpolen aufgehängt und in ihrer Ebene gedreht; sie stellte sich gegen Magnetismus, durch die äquatoriale Lage hindurchgehend, im Allgemeinen schief. Staurolith ist also auch in magnetischer Hinsicht *positiv*.

Eine schöne, an den Kanten durchsichtige Säule, deren äussere Form von einer regelmässigen sechsseitigen wenig abwich, 18^{mm} lang und 6^{mm} dick, stellte sich, aufgehängt

nach α, mit λ,
" $\varkappa$, " λ,
" λ, " α

axial. Bei der letzten Aufhängung blieb es unentschieden, ob die angenommene Stellung nicht Folge gewöhnlicher magnetischer Anziehung war. Es wurde daher eine Platte senkrecht gegen die Axe der Säule geschnitten, in welcher die Dimension nach α etwas zurücktrat. Diese stellte sich aufgehängt

nach $\varkappa$, mit λ,
" λ, " $\varkappa$

axial, also in beiden Aufhängungen in Uebereinstimmung mit dem Magnetismus der Masse.

Die Aufhängung der Platte nach λ bewies, dass sich der Krystall in Folge der Axenwirkung keineswegs mit α axial stellt, und dass er bei der entsprechenden Aufhängung der früheren Säule diese Stellung nur in Folge der gewöhnlichen magnetischen Wirkung angenommen hat. Um zu entscheiden, ob der Krystall eine einzige magnetische Axe habe, die alsdann mit λ zusammenfiel, oder, was die zweite mögliche Alternative war, zwei Axen, die mit λ in der Ebene $\varkappa\lambda$ kleine Winkel bilden, wurde eine Säule ausgewählt, in welcher die Axenrichtung weniger vorherrschend war, als bei der ursprünglich untersuchten. Die neue Säule, wie die frühere durch Wegfallen der spitzen Seitenkanten einer regelmässigen sich annähernd, war 6^{mm} lang und 3^{mm} dick. Sie warf sich, auch nach λ aufgehängt, gehoben in die äquatoriale Lage herum, so dass $\varkappa$ sich von Pol zu Pol stellte. Nur blieb die Richtkraft immer schwach, und die Säule machte bei derjenigen Erhebung, wo diese Richtkraft in Folge der Axenwirkung am grössten war, in 30 Sekunden bloss $8\frac{1}{2}$ halbe Schwingungen, während bei derselben Erhebung, wenn die Säule um 90^0 um ihre Axe gedreht wurde, die Anzahl dieser Schwingungen 50 betrug. Das Verhältniss der Kräfte, welche die Säule bei diesen beiden Aufhängungen in die äquatoriale Lage trieben, war hiernach

$$1 : 34{,}6.$$

Der Staurolith hat zwei magnetische Axen, die von den Polen angezogen werden, mit einander einen kleinen Winkel bilden und in der Ebene der Basis so liegen, dass die lange Diagonale derselben ihre Mittellinie ist. *Er ist hiernach ein magnetisch positiver Krystall der ersten Art.*

Beim Staurolith wurde zuerst das Vorhandensein zweier magnetischer Axen in Krystallen beobachtet. Die Säule hatte, horizontal aufgehängt, die Axenwirkung sehr stark (stärker als eine Turmalinsäule unter gleichen Verhältnissen und in gleicher Weise) gezeigt, verhielt sich aber den folgenden Tag, als sich's darum handelte, die neu aufgefundene Axenwirkung Fachgenossen zu zeigen, wiederum horizontal aufgehängt nur wie ein rein magnetischer Körper. Der Widerspruch fand seine augenblickliche Lösung darin, dass die nicht zu kurze, horizontal aufgehängte Säule, um ihre Axe continuirlich gedreht, zwischen den möglichst genäherten Polspitzen sich immer von Pol zu Pol stellte, anfänglich zwar diese Stellung bei jeder Erhebung behielt, bald aber bei einer bestimmten Erhebung sich in die äquatoriale Lage herumwarf, und zwar bei einer Erhebung, die von derjenigen Grenze an, wo überhaupt noch eine Einwirkung des Elektromagneten beobachtet werden konnte, bis auf ein paar Centimeter abnahm und dann am geringsten war, wenn die Umdrehungsaxe mit $\varkappa$ zusammenfiel.

Der roth durchscheinende Staurolith vom St. Gotthard (wenn wir nur consistente Krystalle und nicht solche, die leicht zerbröckeln, nehmen) ist sehr geeignet, das Vorhandensein der beiden magnetischen Axen zu zeigen. Aber auch die vollkommen undurchsichtigen einfachen Krystalle der Auvergne von rauhem Aeussern, die stellenweis schon zu verwittern angefangen hatten, verhielten sich ganz ebenso.

7. Schwefelsaures Nickeloxyd [$NiSO_4 + 7H_2O$].
8. Schwefelsaures Zinkoxyd [$ZnSO_4 + 7H_2O$].
9. Schwefelsaure Magnesia [$MgSO_4 + 7H_2O$].
10. Chromsaure Magnesia [$MgCrO_4 + 7H_2O$].

Die Grundform dieser isomorphen Salze weicht nur wenig von der quadratischen Säule ab. Man unterscheidet indess die spitzen Kanten dadurch sehr leicht, dass die Ebene der sehr vollkommenen Spaltbarkeit dieselben fortnimmt. Die beiden optischen Axen haben in sämmtlichen Krystallen eine entsprechende Lage. Die Ebene derselben ist die Basis, ihre Mittellinie steht senkrecht auf der Spaltungsfläche, so dass sie mit der langen Diagonale zusammenfällt. Bei geringer Neigung sieht man bei sämmtlichen Krystallen eins der beiden Ringsysteme durch jedes Paar gegenüberliegender Seitenflächen. Man sieht beide

Bilder bei schicklicher Neigung durch die vollkommenen Spaltungsflächen. Der Winkel der optischen Axen ist nach Brewster für

schwefelsaures Nickeloxyd 42° 4′,
schwefelsaures Zinkoxyd 44° 28′,
schwefelsaure Magnesia 37° 24′.

Der Winkel für chromsaure Magnesia weicht wenig von dem Winkel für schwefelsaure ab.

In allen Krystallen liegen die optischen Axen für violette Strahlen der Mittellinie zunächst. Wir fanden alle Krystalle in optischer Hinsicht negativ, auch mit Einschluss des schwefelsauren Nickeloxyds, das Brewster irrthümlich als positiv aufführt.*)

Schwefelsaures Nickeloxyd

ist seiner chemischen Natur nach, nicht in Folge fremder Beimischung, stark magnetisch. Eine natürliche Säule, 12mm lang und 3mm dick, stellte sich aufgehängt

nach α, mit $\varkappa$,
„ $\varkappa$, „ α,
„ λ, „ $\varkappa$

axial. Nur bei der zweiten Aufhängung war die Wirkung in Uebereinstimmung mit dem Magnetismus der Masse. Aber auch wenn die Säule zu einer Platte abgeschliffen wurde, wobei die Dimension nach α die kleinste geworden war, stellte sich die Axe der Säule, und zwar gegen den gewöhnlichen Magnetismus, immer noch von Pol zu Pol. Eine schief aus der Säule geschnittene Platte stellte sich, wenn sie vertical aufgehängt und in ihrer Ebene gedreht wurde, indem sie gegen Magnetismus durch die *äquatoriale* Lage hindurchging, im Allgemeinen schief. *Schwefelsaures Nickeloxyd ist ein magnetisch positiver Krystall der fünften Art.*

Während die magnetische Axenwirkung beim Nickelsalze sehr stark und schon bei schwacher magnetischer Kraft sich zeigte, war diese Wirkung schwach bei den drei anderen isomorphen Krystallen, die sämmtlich diamagnetisch sich verhielten.

Schwefelsaures Zinkoxyd.

Wenn eine Säule mit ihrer Axe vertical aufgehängt wurde, so stellte sich die Spaltungsfläche äquatorial. Horizontal aufgehängt, stellte ihre Axe sich äquatorial, in Uebereinstimmung mit Diamagne-

*) Hiermit stimmen auch die von den unsrigen unabhängigen Beobachtungen der Herren Tyndall und Knoblauch überein.

tismus, nahm aber diese Stellung gegen Diamagnetismus auch dann noch an, wenn durch Verkürzung nach dieser Axe die Säule auf eine Platte reducirt worden war; nur mit dem Unterschiede, dass bei einer Aufhängung nach $\varkappa$ schon zwischen den Polspitzen, wie auch gehoben, die Säulenaxe die bezeichnete Richtung annahm, bei einer Aufhängung nach λ aber *nur* gehoben, während der Krystall zwischen den Polspitzen rein diamagnetisch sich verhielt.

Eine Platte, die einer Seitenfläche der Grundform parallel war, senkrecht aufgehängt und in ihrer Ebene gedreht, stellte sich, durch die *äquatoriale* Lage hindurchgehend, im Allgemeinen schief.

Das schwefelsaure Zinkoxyd wäre nach dem Vorstehenden *ein magnetisch positiver Krystall der ersten Art, und der Winkel der magnetischen Axen nicht sehr gross.*

Es war auffallend, wie der horizontal aufgehängte Krystall zwischen den Polspitzen sehr stark diamagnetisch sich verhielt, bei sehr geringer Erhebung aber vom Magnete keine merkliche Einwirkung mehr zeigte. Diese Beobachtung bestärkte uns in der Vermuthung, dass dem angeblich reinen Zinkvitriol ein Minimum von Eisen beigemischt sei, und diese Vermuthung wurde dadurch bestätigt, dass Herr Dr. Bödeker in der Lösung unseres Salzes nach Fällung des Zinkes auf chemischem Wege Eisen nachgewiesen hat.

Schwefelsaure Magnesia.

Nach α und $\varkappa$ aufgehängt, verhielt sich dieses Salz wie das vorige; wenn es aber nach λ aufgehängt wurde, so liess sich keine Axenwirkung nachweisen. Es ergab sich in magnetischer Hinsicht positiv. Die einzige magnetische Axe fiele hiernach mit der längeren Diagonale, die auf der Spaltungsfläche senkrecht steht, zusammen.

Chromsaure Magnesia.

Wir konnten auch bei Anwendung von 10 Grove'schen Trögen eine entschiedene Axenwirkung *nicht* beobachten.

11. Schwefelsaures Kali.

Der Winkel der spitzen Kanten beträgt $67^\circ\,38'$. Die Basis der Säule ist die Ebene der beiden optischen Axen, die lange Diagonale derselben die Mittellinie. Man sieht die beiden, den optischen Axen entsprechenden Ringsysteme bei etwas schiefem Durchsehen durch zwei je gegenüberliegende Seitenflächen der Grundform.

Wir fanden den Krystall *positiv*, in Uebereinstimmung mit den Beobachtungen von Brewster, der den Winkel der Axen zu 67° an-

giebt. Für die verschiedenen Farben fallen die optischen Axen zusammen; selbst in dünnen Plättchen, die ein weites Ringsystem gaben, war keine Abweichung von der Farbenskala der Newton'schen Ringe wahrzunehmen. Die Masse des Krystalls ist diamagnetisch. Eine entschiedene magnetische Axenwirkung war auch bei Anwendung von 12 Trögen *nicht* zu erkennen.

* * *

Wir schliessen hier die erste Versuchsreihe, und werden gegen unsere frühere Absicht die Discussion der erlangten, in mancher Beziehung merkwürdigen Resultate verschieben, bis auch noch eine zweite Versuchsreihe vorliegen wird, die wir aus einem doppelten Gesichtspunkte unternommen haben, einmal um die frühere zu vervollständigen, dann besonders aber auch, um den Einfluss zu bestimmen, den fremdartige magnetische Substanzen, sei es, dass sie das diamagnetische Verhalten des Krystalles, dem sie beigemischt sind, in magnetisches umkehren oder nicht, in Beziehung auf Axenwirkung ausüben, und wodurch sie die normale Axenwirkung verdecken, nach Umständen schwächen, aufheben, umkehren. So setzen wir zum Beispiel eine Modificirung der normalen Axenwirkung bei dem von uns untersuchten schwefelsauren Zinkoxyd und der schwefelsauren Magnesia voraus, eine fast gänzliche Aufhebung derselben bei unserem schwefelsauren Kali und unserer chromsauren Magnesia, und zwar in Folge von fremden Eisenspuren.

Die mathematische Erklärung der Abstossung und Anziehung der magnetischen Axen bei einaxigen Krystallen wird dann, hoffentlich ergänzt durch die Ausdehnung dieser theoretischen Untersuchungen auf zweiaxige Krystalle, zur Vergleichung vorliegen.*)

*) Ich hatte die Aussicht, die fragliche Abhandlung vom 15. März d. J. in Crelle's Journal für Mathematik noch rechtzeitig abgedruckt zu sehen. Da indess der Abdruck sich verzögert, habe ich die Abhandlung vor Kurzem zurückgezogen, um sie auf anderem Wege zu veröffentlichen.

Plücker.

18.

Ueber das magnetische Verhalten der Gase.

(Annalen der Physik und Chemie, Bd. 83, S. 87—108, 1851.)

I.

1) Herr Zantedeschi hat schon im Jahre 1848 das Sauerstoffgas an die Spitze der magnetischen Körper gestellt.*) Die Versuche, die ihn hierzu berechtigten, sind indess nicht zu meiner Kenntniss gekommen.

Die Beobachtung der Abstossung oder Anziehung eines Gases, das, von *einem andern umgeben*, in aufsteigendem oder absteigendem Strome zwischen den Polspitzen sich bewegt, kann darüber keinen Aufschluss geben, ob das Gas magnetisch oder diamagnetisch sei. Es lassen solche Versuche unentschieden, ob ein Gas stärker diamagnetisch oder schwächer magnetisch, stärker magnetisch oder schwächer diamagnetisch als das umgebende sei.

2) Die Versuche des Herrn E. Becquerel, der Sauerstoffgas von Kohle absorbiren und dann diese zwischen den Polspitzen eines starken Elektromagneten in Sauerstoffgas schwingen liess, sind in der Hinsicht entscheidend, dass das hinzutretende Gas die Kohle magnetisch macht, oder, was wir ebenfalls anzunehmen berechtigt sind, dass Sauerstoffgas im *absorbirten* Zustande magnetisch sich verhält. Der genannte Physiker berechnet den Magnetismus des Gases auf 377, indem er denselben mit dem Magnetismus des Eisens bei gleicher Masse vergleicht und diesen einer Million gleich setzt. Hierbei bleibt aber immer die Frage unerörtert, ob ein Gas in dem absorbirten Zustande, von dem

---

*) Della condizione magnetica e diamagnetica proprie del regno inorganico e della condizione diamagnetica generale ai compositi dei regni organici. Venezia il 14. marzo 1848. — Sauerstoffgas ist das einzige Gas, welches als magnetisch bezeichnet wird, unter den diamagnetischen Körpern werden Wasserstoffgas, Stickstoffgas und Chlor aufgeführt.

wir überhaupt, namentlich wenn das Gas in so ausserordentlicher Weise verdichtet wird, keine klare Vorstellung haben, in magnetischer Hinsicht wie das freie Gas sich verhalte.

Erst die neuen Versuche des Herrn Faraday, der die Differentialwirkung der genäherten Polspitzen des Elektromagneten auf gleiche, empfindlich aufgehängte Glaskugeln, die mit verschiedenen Gasen gefüllt waren, beobachtete, lassen, wenigstens über den Magnetismus des Sauerstoffs und die Stärke desselben, keinen Zweifel mehr auftauchen. Ich wiederholte diese Versuche mit einer leeren und einer mit Sauerstoffgas gefüllten Hohlkugel, mit mancherlei Modificationen, die im Einzelnen anzuführen unlohnend sein würde. Sämmtliche Versuche bestätigten die starke magnetische Anziehung, welche das Sauerstoffgas erleidet. Hiernach wurde ich hingedrängt zu Versuchen, die ich schon im vorigen Sommer, als die Versuche des Herrn E. Becquerel bekannt wurden, projectirt hatte, und die damals schon zur Ausführung gekommen wären, wenn ich mich nicht durch ein erstes Misslingen der Becquerel'schen Versuche hätte abschrecken lassen.

Es bietet nämlich die *Waage* ein bequemes Mittel dar, magnetische Anziehungen und diamagnetische Abstossungen mit grösster Genauigkeit zu messen und dadurch den specifischen Magnetismus der verschiedenen Substanzen zu bestimmen. Solche Bestimmungen, die ich mit festen und flüssigen Körpern gemacht und in diesen Annalen mitgetheilt habe*), wären bloss auf gasförmige Körper auszudehnen; der Erfolg derselben war durch die Resultate des Herrn Faraday vollkommen gesichert.

3) Den fraglichen Bestimmungen liegt die Anschauung zu Grunde, dass, wenn wir uns nach einander in demselben Raume gleich viele Theilchen zweier verschiedener Substanzen in ganz gleicher Weise vertheilt denken, die Totalanziehung oder Totalabstossung der Anziehung oder Abstossung je zweier nach einander an derselben Stelle befindlichen Theilchen der beiden Substanzen proportional ist; dass ferner, bei einer gleichmässigen Vertheilung derselben Substanz durch denselben Raum, die Anziehung oder Abstossung der Masse proportional ist.

*) „Ueber Intensitätsbestimmung der magnetischen und diamagnetischen Kräfte", Pogg. Annalen, Bd. 74, S. 321. [Werke II, Abhandl. 7.]

Hierbei war meine Absicht, mehr das Princip, sowie die Genauigkeit der Methode zur Bestimmung des specifischen Magnetismus und Diamagnetismus verschiedener Substanzen darzulegen, als Zahlen mitzutheilen, die ich für unabänderlich feststehend hielte. Da ich, jetzt glücklicher als früher, über mehrere *chemisch möglichst reine* Substanzen verfügen kann, beabsichtige ich für wichtigere Fälle einige solche Bestimmungen nächstens mit möglichster Genauigkeit zu machen.

Damit diese Anschauungsweise als eine streng mathematische betrachtet werden könne, müssen wir mehrere Voraussetzungen machen. Wir müssen *erstens* annehmen, dass ein Theilchen eines Körpers dadurch, dass es magnetisch geworden ist, nicht ebenfalls auf die benachbarten Theilchen irgendwie merklich einwirke. Meine früheren Versuche haben gezeigt, wie bei sehr stark magnetischen Substanzen diese Einwirkung sich zeigt, dass aber bei nicht zu stark magnetischen, oder bei stark magnetischen, aber sehr *vertheilten* Substanzen, bei festen und flüssigen, diese Voraussetzung gerechtfertigt ist. Wir müssen *zweitens* voraussetzen, dass für die verschiedenen Substanzen die Anziehung oder Abstossung dieselbe Function der Entfernung von den Mittelpunkten der Wirkung ist, brauchen hierbei aber in keiner Weise eine Annahme über die Lage dieser Mittelpunkte zu machen. Mit dieser zweiten Voraussetzung ist eine *dritte* zu verbinden, dass nämlich bei verschiedener Stärke des Magneten Theilchen der verschiedenen Substanzen an derselben Stelle in gleichem Verhältnisse stärker oder schwächer angezogen oder abgestossen werden. Ohne diese letzte Voraussetzung wäre überhaupt keine Vergleichung des specifischen Magnetismus verschiedener Substanzen möglich. Der Versuch allein kann über ihre Zulässigkeit entscheiden. Sie ist nicht ganz unbedingt zulässig, als erste Annäherung muss sie aber jedenfalls gelten.

4) Bei unsern vergleichenden Bestimmungen kommt es dann in keiner Weise darauf an, ob wir bloss einen oder gleichzeitig beide Pole wirken lassen, so wie es gleichgültig ist, welche Form wir den Polenden geben und in welche Lage gegen dieselben wir die zu untersuchende Substanz bringen: es müssen bloss von einer Bestimmung zur anderen diese Verhältnisse ganz unverändert bleiben. Ich habe den Magneten auf dieselbe Weise auf die Gase wirken lassen, wie früher auf feste und flüssige Substanzen: bloss durch die Rücksicht geleitet, die grösste mögliche Wirkung zu erzielen. Darum legte ich die schweren, an einer Seite halbkreisförmig abgerundeten Halbanker auf die beiden Polflächen des stehenden grossen Elektromagneten und näherte dieselben einander mit den gerundeten Enden bis auf 5,5^{mm}. Auf diese beiden Halbanker wurde statt des früheren Uhrglases eine zur Aufnahme der Gase bestimmte Kugel von etwa 45^{mm} Durchmesser so aufgestellt, dass dieselbe jeden Halbanker in einem Punkte berührte, und dann wurde durch die Waage die Stärke der Anziehung oder Abstossung bestimmt.

5) Die Waage, deren ich mich bediente, war eine derjenigen, die in neuester Zeit Herr Geissler hierselbst aus Glasröhren anfertigt, und welche bei der grossen Leichtigkeit des Balkens eine ungewöhn-

liche Empfindlichkeit geben. Sie enthielt ausser der feinen Schneide, mit welcher sie aufstand, kein Eisen und überhaupt kein Metall, und war, dem besonderen Zwecke entsprechend, für eine Belastung von 6 gr. bis 9 gr. ajustirt, wobei sie für 0,0001 gr. einen sehr merklichen Ausschlag gab.*) Der Waagebalken ist ungefähr 430^{mm} lang, und jeder Arm in 100 Theile getheilt. Ein längerer feiner Platindraht, 0,01 gr. schwer, wird aufgesetzt und durch einen Glasstab langsam fortgeschoben. Das Fortrücken desselben um einen Theil entspricht also einem Gewichtsunterschiede von 0,0001 gr. Die Menge des Gases in der Kugel wurde durch das Gewicht unmittelbar bestimmt. Die Bestimmung der magnetischen Wirkung wich, wenn sie, was immer der Fall war, mehrmals nach einander wiederholt wurde, in ihren Resultaten um nicht mehr als 0,0002 bis 0,0003 gr. ab, eine Genauigkeit, die der des eigentlichen Wägens nahe kommt. Ein auch in grosser Entfernung vorbeifahrender Wagen, sowie die geringste Bewegung in der Stube, waren Störungen, die vermieden werden mussten. Die Waage stand auf einem der beiden Halbanker, der sie einschliessende Glaskasten auf dem Tische des Elektromagneten.

6) Die Kugel, welche zur Aufnahme des Gases bestimmt war und an einem Arme der Waage aufgehängt wurde, bestand aus dünnem Glase, hielt aber namhaft mehr als einen Atmosphärendruck aus, gleichviel ob dieser Druck von Aussen oder von Innen stattfand. Derjenigen Stelle, wo sie auf den beiden Halbankern aufstand, diametral gegenüber war eine Röhre angeschmolzen, welche durch einen Hahn (A) mit feiner Durchbohrung luftdicht verschlossen werden konnte.

7) Auf dem Teller der Luftpumpe war eine engere Röhre mit einem Hahne (B), durch den die Verbindung mit dem Stiefel hergestellt und unterbrochen werden konnte, in senkrechter Stellung eingekittet. Ihr oberes Ende war offen und in dasselbe das Ende der Röhre der Glaskugel luftdicht eingeschliffen. An dieser senkrechten Röhre (S) waren seitwärts, oberhalb des Hahnes (B), zwei Glasröhren eingelassen. Die eine derselben war zuerst etwa 400^{mm} lang nach oben, dann doppelt so lang nach unten und endlich wieder nach oben gebogen. Sie war offen und bildete, nachdem Quecksilber in dieselbe eingegossen worden, eine barometerartige Vorrichtung, wodurch die Verdünnung des Gases und eine Verdichtung desselben bis auf $2\frac{1}{2}$ Atmosphären Druck gemessen werden konnte. Die andere Röhre

*) Die zunächst für Chemiker bestimmten Waagen des Herrn Geissler haben eine grössere Empfindlichkeit. Da derselbe indess noch immer mit ihrer Vervollkommnung beschäftigt ist, würde eine genauere Notiz über dieselbe hier noch nicht am rechten Orte sein.

(*R*) führte zu dem Gasbehälter. Dieser bestand aus einem calibrirten, 220 Kubikcentimeter enthaltenden Glascylinder, in welchem das zu untersuchende Gas über Quecksilber gleich bei der Entwickelung aufgenommen wurde. Derselbe war unten zur Aufnahme eines Korkes, der nach der Gasentwickelung unter Quecksilber eingesteckt und dann noch mit Blase umgeben wurde, etwas verengt. Oben war eine engere Röhre mit einem durchbohrten Hahne (*C*) angeblasen, welche, horizontal umgebogen, durch Kautschuk mit der Seitenröhre (*R*) verbunden wurde. Endlich mündete noch in den Gasbehälter seitwärts und so tief unten, dass bei der Entwickelung des Gases Quecksilber darüber stand, eine Glasröhre, die nach oben umgebogen und offen war. Durch eingegossenes Quecksilber konnte das Gas in dem Behälter und, wenn die Hähne (*A*) und (*C*) geöffnet waren, auch in der Glaskugel bis auf ungefähr zwei Atmosphären Druck comprimirt werden.

Die Zusammenstellung der ganzen Vorrichtung verdanke ich Herrn Geissler, der auch bei den Bestimmungen selbst mir hilfreich zur Seite stand.

8) Nach einigen vorläufigen Versuchen wurde zu den Versuchen selbst geschritten. Die Temperatur der Stube war auf 18—20° C. erhalten. Auch der Barometerstand schwankte wenig um 750^{mm}. Der Magnetismus wurde durch 6 Grove'sche Elemente erregt und die Kette blieb immer nur so lange geschlossen, als die Bestimmung der magnetischen Anziehung dauerte. Bei ganz frischer Salpetersäure wurde eine Zeit lang gewartet, bis die Stromstärke constant geworden, und überhaupt dieselbe Kette nur für wenige Bestimmungen gebraucht. Ich theile in dem Nachstehenden die Resultate sämmtlicher Versuchsreihen mit, eine einzige abgerechnet, wo ganz ausnahmsweise eine Mischung von frischer und gebrauchter Säure angewendet wurde, und die Stromstärke im Ganzen schwächer war, während der Bestimmung der magnetischen Anziehung des Sauerstoffgases aber zusehends und bedeutend wuchs.

1. Sauerstoffgas.

9) Das Gas wurde aus chlorsaurem Kali entwickelt und durch eine Chlorcalcium-Röhre in den calibrirten Cylinder geleitet; dann wurde dieser Cylinder unten verkorkt und das Gas in demselben comprimirt. Nachdem die zur Aufnahme des Gases bestimmte Kugel bis auf 5^{mm} bis 6^{mm} Spannung luftleer gemacht, wurde sie an dem einen Arme der Waage aufgehängt und in einer Entfernung von etwa 6^{mm} von den genäherten Halbankern, über denselben schwebend, tarirt, wobei sich, des wechselnden Barometerstandes wegen, immer kleine Abweichungen ergaben. Dann wurde die Kugel wieder luftdicht auf die Glasröhre *S*

aufgesetzt und wieder luftleer gemacht, und hierauf der Hahn *B* geschlossen und der Hahn *C* geöffnet, damit sie mit Sauerstoffgas sich füllte. Bei geschlossenen Hähnen *A* und *C* wurde wieder evacuirt, dann wurde *B* geschlossen und *A* geöffnet, so dass der grösste Theil des Sauertoffgases wieder aus der Kugel entfernt war, und dies einmal oder zweimal wiederholt, bis die Spannung des noch bleibenden Gases nicht mehr als noch etwa 6^{mm} betrug, und also jede merkliche Spur von Luft daraus entfernt war. Dann strömte durch Oeffnen des Hahnes *C* bei geschlossenem Hahne *B* das von Neuem comprimirte Gas in die Kugel. Der Druck des Gases wurde zur Controle annäherungsweise bestimmt, und die Kugel durch den Hahn *A* abgesperrt. Die Kugel wurde hiernach wieder wie früher aufgehängt, und die Zunahme ihres Gewichts bestimmt. Diese ist, wenn wir noch eine kleine Correction rücksichtlich der nicht absoluten ursprünglichen Luftleere anbringen, das Gewicht des eingeschlossenen Sauerstoffgases. Hiernach wurde der Strom geschlossen, die Kugel senkte sich zu den beiden Halbankern hin, die sie beide in einem Punkte berührte, und wurde von denselben festgehalten. Das zum Abreissen erforderliche Gewicht wurde sorgfältig bestimmt und gab unmittelbar die magnetische Anziehung der mit Gas gefüllten Kugel, wenn es noch um dasjenige Gewicht vermehrt wurde, das erforderlich war, um die Kugel bei nicht erregtem Magnetismus gerade bis zu den Halbankern herabzuziehen, und welches 0,0004 gr. betrug. Nach dieser ersten Bestimmung wurde durch Oeffnen und Schliessen des Hahnes ein Theil des comprimirten Gases herausgelassen, das Gewicht des übrig bleibenden und die magnetische Anziehung wie oben bestimmt. Solcher Bestimmungen wurden noch drei gemacht, die erste mit Gas, das durch Oeffnen des Hahnes die Spannung der äusseren Luft erhalten hatte, die beiden letzten mit verdünntem Gase. Um die Verdünnung zu erhalten, wurde die Kugel wiederum auf die Röhre *S* aufgesteckt, die Luft, während der Hahn *A* geschlossen blieb, ausgepumpt, und dann durch Oeffnen des Hahnes Sauerstoffgas nach Gutdünken herausgelassen. Endlich wurde das Sauerstoffgas bis auf 6^{mm} Spannung aus der Kugel herausgezogen. Dann ging sie nur, wenn sie vor der magnetischen Erregung in *unmittelbarer* Nähe der Halbanker äquilibrirt war, nach Schliessung der Kette zu denselben hin und haftete an ihnen mit einer Kraft von 0,0002 gr. bis 0,0003*) gr.; in einer Entfernung von mehr als $0{,}3^{mm}$ wurde die Kugel abgestossen. Wir werden dieses Verhalten bei den Untersuchungen über den Magnetismus der Luft näher besprechen und dann sehen, wie die geringe

*) [Im Original steht 0,003, was wohl ein Druckfehler ist.]

Anziehung beim Aufliegen dem noch in der Kugel verbliebenen Reste von Sauerstoffgas, grösstentheils wenigstens, zuzuschreiben ist, *so dass unsere ganz leere Kugel beim Aufliegen keine messbare magnetische Einwirkung erfährt,* und wir also die Anziehung der mit Sauerstoffgas gefüllten Kugel lediglich diesem zuzuschreiben haben. Schliesslich wurde noch Luft zugelassen, und dann die Anziehung bestimmt.

10) Die vorstehenden Erörterungen beziehen sich auf die erste Versuchsreihe; die übrigen Versuchsreihen wurden in ähnlicher Weise angestellt. Die Resultate sind in der folgenden Tafel enthalten; es ist hierbei der zehnte Theil eines Milligramms als Gewichtseinheit genommen.

	Gewicht des Sauerstoffs a	Magnetische Anziehung b	$\frac{1000 \cdot b}{a}$	Abweichung vom Mittel
		Versuchsreihe I.		
1	1063	322	303	— 25
2	775	279	360	+ 32
3	560	184	329	+ 1
4	448	145	324	— 4
5	207	67	324	— 4
			Mittel 328	
		Versuchsreihe II.		
1	1093	339	310	— 9
2	938	306	326	+ 7
3	565	182	322	+ 3
			Mittel 319	
		Versuchsreihe III.		
1	593	184	310	0
2	407	130	319	+ 9
3	197	59	300	— 10
			Mittel 310	
		Versuchsreihe X.		
3	560	201	360	— 2,5
4	1067	389	365	+ 2,5
			Mittel 362,5	
		Versuchsreihe XI.		
1	880	279	317	— 6
2	575	189	329	+ 6
			Mittel 323	

Die Zahlen der ersten Columne bezeichnen die Aufeinanderfolge der Bestimmungen in jeder Versuchsreihe. In der X. Reihe war die

Kugel zuerst mit Sauerstoffgas bei einfachem Atmosphärendrucke gefüllt worden. Um dann noch mehr Sauerstoffgas hineinzubringen, wurde bei geschlossenen Hähnen A und C ausgepumpt, dann B geschlossen und C geöffnet, dann bei geschlossenen Hähnen A und C wieder ausgepumpt und B wieder geschlossen; endlich nach einander C und A geöffnet und das Gas hineingepresst. Die abgeschlossene Kugel wurde bis zur nächsten Versuchsreihe dreissig Stunden aufbewahrt; während dieser Zeit waren 187 Theile Sauerstoffgas entwichen. Wahrscheinlich in Folge der Zersetzung des in geringster Menge angewandten Schmiermittels schloss der Hahn nicht mehr vollständig, was sich auch bei der XI. Versuchsreihe, bei welcher diese Beobachtung gemacht wurde, darin zeigte, dass comprimirte Luft bei einem Gewichte von 1118, während die Anziehung derselben bestimmt wurde, in der Zeit von 10—15 Minuten um 10 leichter wurde. Die Bestimmung wurde daher als fehlerhaft verworfen, und denselben Tag nur mit Luft von der äusseren Spannung operirt. Die vierte Columne enthält die Anziehung des Gases auf das Gewicht 1000 reducirt.

11) Die vorstehenden Bestimmungen führten uns zu dem Resultate, *dass, wenigstens bis zu einem doppelten Atmosphärendrucke, die magnetische Anziehung des Sauerstoffgases seiner Dichtigkeit proportional ist.* Dieser Proportionalität entsprechend zeigt sich auch dann noch eine bemerkbare Anziehung, wenn die Verdünnung einem Drucke von einem halben Centimeter entspricht.

12) Das Sauerstoffgas wird also, *unter den oben erörterten Verhältnissen,* in der etwa 45^{mm} im Durchmesser haltenden Glaskugel ungefähr mit dem dritten Theile seines Gewichts angezogen; wonach auf das bis zu dreifachem Atmosphärendrucke in unserer Kugel comprimirte Sauerstoffgas der Magnetismus durchschnittlich mit derselben Kraft wirkt, wie die Schwere.

13) Diese Bestimmung hat natürlich keine absolute Geltung. Sie ändert sich, auch abgesehen von der verschiedenen Stärke des Stromes — wie sie auch in unseren verschiedenen Versuchsreihen hervortritt — bei jeder anderen Ajustirung der Anker und bei jeder anderen Grösse und Form, die wir dem Gefässe, welches das Sauerstoffgas einschliesst, gaben. Bei derselben Ajustirung der Anker würde eine kleinere Kugel eine viel grössere relative Anziehung gegeben haben, und diese Anziehung hätte noch zugenommen, wenn die Kugel platt gedrückt und dadurch das Sauerstoffgas den Mittelpunkten der Wirkung durchschnittlich näher gerückt wäre. Ich wählte aber einmal eine Kugel, um das Gas bei sehr dünnen, etwa papierdicken Wänden beliebig verdünnen, sowie namhaft comprimiren zu können; und dann eine grössere Kugel,

um die Menge des eingeschlossenen Gases mit Genauigkeit direct bestimmen zu können, was um so nöthiger erschien, als bei der engen Durchbohrung des Hahnes *A* das Gas in der Kugel nicht sogleich die äussere Spannung annahm. Herr Faraday schätzt die Anziehung, die sein horizontalschwingender Apparat durch das in einer Kugel desselben eingeschlossene Sauerstoffgas erfährt, auf $^1/_{10}$ (englischen) Gran (= 5,3 mgr.) bei einem Volumen der Kugel von $^1/_3$ (englischem) Kubikzoll.*) Der Inhalt meiner Kugel war also etwa 9 Mal, die Anziehung des in ihr enthaltenen Gases etwa 3 Mal grösser. Hiernach wäre die durchschnittliche Anziehung des Gases, auf gleiches Volumen reducirt, bei der Faraday'schen Bestimmung dreimal stärker, so dass die mittlere magnetische Anziehung der Kraft der Schwere gleich war, und dass das Gas sein Gewicht verlieren würde, wenn die magnetische Kraft von oben her auf dasselbe wirkte.

2. Stickstoffgas.

14) Das Gas wurde durch Chlor aus Ammoniak dargestellt und durch Chlorcalcium getrocknet. Nachdem die Glaskugel, um alles Sauerstoffgas der Luft aus ihr zu entfernen, mit Stickstoffgas ausgespült worden war, wurde sie mit diesem Gase bis auf nahe einen doppelten Atmosphärendruck gefüllt. Da aber eine Kautschukverbindung platzte, wurde der Hahn *A* geschlossen, nachdem das Stickstoffgas bis auf nahe einen Atmosphärendruck entwichen war.

Versuchsreihe IV.

Gewicht des Stickstoffgases 515. Bei unmittelbarer Nähe der Glaskugel und der beiden Halbanker *war weder Anziehung noch Abstossung bemerkbar.* Die Wirkung betrug sicherlich nicht den hundertsten Theil der Anziehung des Sauerstoffgases.

Hiernach wurde der Versuch mit condensirtem Stickstoffgase einstweilen nicht wiederholt.

3. Luft.

15) Die Luft, als ein Gemenge von Stickstoffgas und Sauerstoffgas, verhielt sich magnetisch. Die Frage, welche hier sogleich entgegentrat, war, ob die magnetische Anziehung, die sie erfährt, genau eine solche sei, wie sie bei der in experimentaler Hinsicht wenigstens vollständigen Indifferenz des Stickstoffgases dem Sauerstoffgehalte der-

*) Notices of the meetings of the Royal Institution 1851. p. 1.

selben entspricht. In der folgenden Zusammenstellung der gewonnenen Resultate bezeichnet die erste Columne wiederum die Aufeinanderfolge der Versuche der bezüglichen Reihe. Die zweite Columne giebt das Gewicht der Luft, die dritte das berechnete Gewicht des darin enthaltenen Sauerstoffgases, die vierte Columne die Totalanziehung. Die fünfte und sechste Columne geben diese Anziehung bezüglich für 1000 Gewichtstheile Luft und für ebensoviele Sauerstoffgas. In der siebenten Columne sind die Differenzen mit der gleichzeitig beobachteten Anziehung des reinen Sauerstoffgases bemerkt.

	Gewicht der Luft a	Gewicht d. Sauerstoffs c	Anziehung b	$\frac{1000 \cdot b}{a}$	$\frac{1000 \cdot b}{c}$	
			Vorläufiger Versuch.			
	529	122	50,5	95	414	
			Versuchsreihe I.			
6	514	—	56	—	—	
			Versuchsreihe IV.			
1	1092	252	102	93	405	
2	515	119	49	95	415	
				Mittel 94	410	
			Versuchsreihe X.			
1	1074	240	96	89	405	+ 42,5
2	509	117	47	92	402	+ 39,5
3. 4	—	—	—	—	362,5	—
				Mittel 90,5		+ 41
			Versuchsreihe XI.			
1. 2	—	—	—	—	323	
3	1114	—	—	—	—	
4	526	121,5	44	84	362	+ 39
			Versuchsreihe XII.			
1	526	121,5	49,5	94,1	407,4	+ 26,5
2	—	571	217,5	—	380,9	—
3	522	120,6	50,5	96,9	410,9	+ 30,0
				Mittel 95,5		+ 28,2

In der ersten Versuchsreihe ist die Vorsicht noch nicht angewendet worden, die mit Sauerstoffgas gefüllte und darauf evacuirte Kugel mit Luft auszuspülen, bevor sie schliesslich mit Luft gefüllt wurde. Dadurch ist die Anziehung zu gross ausgefallen.

16) Die Versuchssreihen IV. und X. beweisen, *dass die Luft in demselben Verhältnisse, als ihre Dichtigkeit zunimmt, von dem Magnete stärker angezogen wird.*

17) Die Versuche zeigen ferner, *dass der Magnetismus der Luft annäherungsweise der in derselben enthaltenen Menge von Sauerstoffgas zuzuschreiben ist.* Alle geben indess das übereinstimmende Resultat, dass die Luft um $^1/_{15}$ bis $^1/_{10}$ *stärker* magnetisch ist, als sie in Folge des Gehaltes an Sauerstoffgas, wenn dieses in demselben Volumen gleichmässig vertheilt wäre, sein würde. Dieser Unterschied ist allerdings gering; ich sehe aber nicht ein, wie er in einem constanten Beobachtungsfehler liegen könnte, der die geringere Anziehung der Luft zu gross gegen die grössere Anziehung des Sauerstoffgases gäbe.

18) Die XII. Versuchsreihe wurde lediglich in der Absicht, diese Frage zu entscheiden, mit grösster Vorsicht angestellt. Es wurde reinere Salpetersäure und etwas mehr verdünnte Schwefelsäure (1,09 spec. Gew.) genommen, und die Beobachtungen erst gemacht, nachdem die Kette einige Zeit geschlossen gewesen war. Die Luft wurde, was früher nicht geschehen war, durch concentrirte Schwefelsäure und eine Kalilösung geleitet, und die Kugel vor der Füllung mehrmals mit der reinen und trockenen Luft ausgespült. Die in die Kugel eingeschlossene Luft sowohl als das Sauerstoffgas hatten die Spannung der äusseren Luft. Für die Kraft, mit welcher die Luft angezogen wurde, ergab sich in den auf einander folgenden Bestimmungen 50, 48, 50 und wieder 50, im Mittel 49,5. Die vierte Bestimmung wurde gemacht, nachdem die Kette während längerer Zeit, welche zur Füllung mit Sauerstoffgas nöthig war, geöffnet gewesen war. Dann gab Sauerstoffgas nach einander die Anziehungen 214, 217, 217 und 217, 219, 221, im Mittel 217,5. Die drei letzten Bestimmungen wurden gemacht, nachdem die Kette längere Zeit ausser Thätigkeit gewesen war. Gleich nachher wurde wiederum die Anziehung der Luft bestimmt, und dabei 51 und 50, im Mittel 50,5 gefunden. Die Constanz der Kette ist durch die Versuche selbst controlirt, eine kleine Zunahme an Kraft hatte auf die Resultate keinen wesentlichen Einfluss.

19) Nach der so schwachen magnetischen Einwirkung auf Stickstoffgas können wir die Mehranziehung der Luft in keiner Weise diesem zuschreiben. Ich denke, dass zu ihrer Erklärung die Annahme die natürlichste ist, dass das Sauerstoffgas in geringer Menge nach den Stellen der grössten Wirkung sich hinziehe, und dass bei unvergleichlich viel grösserer Kraft die Bestandtheile der Luft sich trennen würden. Ich muss um so mehr in einige theoretische Erörterungen eingehen, als ein Irrthum, in den ich früher verfallen bin, hier zu berichtigen ist.

20) Wird ein Gas, je nachdem es magnetisch oder diamagnetisch ist, in der unmittelbaren Nähe der Pole verdichtet oder verdünnt?[1]) Mathematisch aufgefasst ist diese Frage unbedingt zu bejahen; aber in ex-

perimentaler Beziehung muss sie verneint werden. Denken wir uns einen auf einer Seitenfläche aufstehenden Würfel von Sauerstoffgas von etwa einem Centimeter Seitenlänge und durchschnittlich angezogen mit einer Kraft, die seinem Gewichte gleich ist. Solch ein Würfel wird von oben mit einem Atmosphärendrucke, d. h. mit einem Gewichte von 76 Kubikcentimeter Quecksilber gedrückt. Die magnetische Anziehung können wir, wenn der Magnet sich unterhalb befindet, als eine Verstärkung dieses Druckes von oben ansehen, die eine Compression des Gases zur Folge hat. Diese Druckvermehrung entspricht nach der obigen Voraussetzung dem Gewichte des Gases. Nehmen wir an, dieses sei 10800 Mal leichter als Quecksilber, so ändert sich der Druck nur um $\frac{1}{842400}$, und das wäre zugleich die Grösse der in Folge der magnetischen Wirkung stattfindenden Contraction des Sauerstoffgases. Eine solche Contraction ist nicht wahrnehmbar.*)

21) Anders aber verhält sich die Sache, wenn Sauerstoffgas und Stickstoffgas gemengt sind; dann können die Gase sich trennen, ohne dass die Spannung derselben sich ändert. Um zu entscheiden, ob Sauerstoffgas aus einem solchen Gemenge in merklicher Menge an den Polen sich anhäufe, wurde ein System von zwei plattgedrückten Glaskugeln, die in der Mitte durch eine kurze Kautschukröhre in Verbindung standen, eine über der andern, auf die genäherten Magnetpole gestellt. Nachdem die magnetische Wirkung längere Zeit gedauert hatte, wurde die Kautschukröhre vermittelst eines Fadens zugeschnürt und dann die Luft in beiden Gefässen im Eudiometer analysirt. Der Unterschied an Sauerstoffgehalt lag innerhalb der Grenzen der Beobachtungsfehler.*)

Im Allgemeinen kann dieses negative Resultat, zu welchem früher schon Herr Faraday in anderer Art gelangt war, in keiner Weise befremden, denn die Diffusion der Gase findet trotz des Unterschiedes der Gewichte statt, und dieser Unterschied kann grösser sein, als die magnetische Anziehung des Sauerstoffgases in grösster Nähe der Pole. Jedenfalls aber kann nach den oben mitgetheilten Bestimmungen die Absonderung des Sauerstoffgases aus der Luft nicht gross sein, und

*) Wenn mir anfänglich ein mit Luft gefülltes und durch einen Alkoholtropfen abgesperrtes Gefäss von schicklicher Form zwischen den Magnetpolen eine Ausdehnung der Luft anzuzeigen schien [vergl. Abh. 4, S. 60—61, und Abh. 5], so überzeugte ich mich durch die Versuche, die ich im Sommer 1850, als mir zufällig zwei grosse Elektromagnete zu Gebote standen, mit ungewöhnlich starkem Magnetismus wiederholte, dass bei Vermeidung jedes äusseren Druckes auf das Gefäss die obige Erscheinung unter günstigen Verhältnissen nur dann eintrat, wenn der absperrende Alkoholtropfen ganz in der Nähe der Pole war, und dann nur der diamagnetischen Wirkung auf diesen zugeschrieben werden konnte.

das um so weniger, als, wenn überhaupt eine solche stattfindet, das Sauerstoffgas, das sich in möglichster Nähe der Pole ansammelt, in Folge dieser Nähe eine Anziehung erfahren muss, die bedeutend stärker ist, als die mittlere Anziehung auf die ganze Gasmenge.

22) Da die Luft so entschieden magnetisch ist, so modificiren sich alle in ihr stattfindenden Anziehungen und diamagnetischen Abstossungen in ganz analoger Weise, wie das absolute Gewicht eines Körpers in einem schweren umgebenden Mittel. Die absolute Anziehung eines magnetischen Körpers erhalten wir, wenn wir zu der in der Luft beobachteten die Anziehung der Luft, die er in seiner jedesmaligen Lage verdrängt hat, addiren. Wenn die Anziehung der Luft grösser ist, als die absolute Anziehung des Körpers, so findet in der Luft Abstossung statt. Die absolute Abstossung eines diamagnetischen Körpers wird in umgebender Luft um so viel vermehrt, als die Anziehung derjenigen Luft beträgt, die er aus der Stelle getrieben.

23) Hiernach erklärt sich aus dem Magnetismus der Luft ausschliesslich oder wenigstens dem bei Weitem grössten Theile nach, *dass bei freier Bewegung in der Luft alle untersuchten Gase und Dämpfe, mit alleiniger Ausnahme des Sauerstoffgases, von den Magnetpolen abgestossen werden.* Sauerstoffgas wird auch in der Luft noch stark angezogen, weil sein Magnetismus grösser ist.

24) Da der Magnetismus der Luft genau ihrer Dichtigkeit proportional ist, *so wird in dünnerer Luft dichtere angezogen, in dichterer dünnere abgestossen. Erwärmte* Luft von gleicher Spannung als *kältere* wird also in dieser abgestossen mit einer Kraft, welche dem Wärmeunterschiede proportional ist und für jeden Grad nahe $^1/_{300}$ der ursprünglichen Kraft beträgt. Die Wirkung auf verschiedene Flammen würde sich hiernach selbst dann erklären, wenn, was nicht der Fall ist, die in denselben glühenden Gase bei gewöhnlicher Temperatur so stark magnetisch wären wie die Luft.

Die Beantwortung der Frage, ob und in welcher Weise bei *gleicher Menge* von Luft (oder Sauerstoffgas) die magnetische Anziehung derselben von der Temperatur abhängig sei, wird später besonders erörtert werden.

25) Die Anziehung der Masse unserer Glaskugel, mit welcher wir alle unsere Versuche gemacht haben, erhalten wir absolut genau, wenn wir dieselbe bei geöffnetem Hahne im luftleeren Raume bestimmen. Wir erhalten dieselbe *fast* genau, wenn wir in der Luft operiren, vorausgesetzt, dass von dieser die Glasmasse innerhalb wie ausserhalb umgeben wird. Wir vernachlässigen hierbei nur die Anziehung, welche die von der Glasmasse verdrängte Luft erleidet, die aber in der Nähe

der Pole, bei der dünnen Wandung der Kugel, nur sehr gering ist. Bestimmen wir aber die Anziehung der Kugel, nachdem wir dieselbe absolut luftleer gemacht haben, so wird hierbei die Anziehung der Glasmasse um die Grösse der Anziehung der von der ganzen Kugel aus der Stelle getriebenen Luft vermindert. Unsere Kugel wird luftleer gar nicht angezogen; durch einen glücklichen Zufall *ist die Anziehung des Glases der Kugel* (bei unserer Stärke des Magneten) *gerade so gross, als die Anziehung der Luft, welche sie bei gewöhnlichem Drucke in sich aufnehmen kann.* (Eine zweite Kugel, deren Wandung etwas stärker war, wurde luftleer beim Aufstehen auf den Polen mit dem Gewicht 36 angezogen.)

26) Endlich ist noch der bereits oben erwähnte Umstand zur Sprache zu bringen, dass unsere leere Kugel, je nachdem sie ein Minimum von Sauerstoffgas noch enthielt oder nicht, in unmittelbarer Nähe der Anker einmal schwach angezogen wird, das andere Mal ganz indifferent sich verhält, während sie in einiger Entfernung von den Polen entschieden abgestossen wird mit einer Kraft von einem oder mehreren Gewichtseinheiten. Um diese Erscheinung zu erklären, genügt es, die, wie mir scheint, wohlbegründete Annahme zu machen, dass, wenn wir die (aus magnetischer und diamagnetischer Wirkung resultirende) Anziehung der hohlen Glaskugel und die Anziehung der den Raum der ganzen Kugel einnehmenden Luft besonders betrachten, der Mittelpunkt der Wirkung im ersten Falle dem Magneten näher liegt, als im zweiten Falle. Die erste Wirkung muss hiernach mit der Entfernung rascher abnehmen, als die zweite, und wenn sie anfänglich von dieser aufgehoben wurde, muss sie bei einiger Entfernung von ihr übertroffen werden, und es muss Abstossung entstehen.

4. Stickoxydulgas.

27) Das Gas wurde aus salpetersaurem Ammoniak dargestellt und durch Chlorcalcium getrocknet.

Versuchsreihe V.

1. Gewicht des comprimirten Gases 1431. — *Keine* magnetische Wirkung bemerkbar.

2. Gas, dessen Spannung die Spannung der äusseren Luft wenig übertraf. — Gewicht 826. — *Keine* Wirkung.

5. Cyangas.

28) Das Gas wurde aus Cyanquecksilber entwickelt.

Versuchsreihe VI.

1. Comprimirtes Gas. — Gewicht 1703. — *Keine* magnetische Wirkung bemerkbar.

2. Gas von der Spannung der äusseren Luft. — Gewicht 911. — *Keine* Wirkung.

Es wurde dieses Gas vorzüglich darum untersucht, weil Herr Faraday es als ein solches bezeichnet, das nicht, wie die meisten Gase, ausser Sauerstoffgas, bei jeder Verdichtung sich gleich verhalte.

6. Kohlensäure.

29) Das Gas wurde aus doppelt-kohlensaurem Natron dargestellt und in die Kugel, die immer, wie bisher, mit demselben Gase ausgespült worden war, bis nahe $1\frac{1}{2}$ Atmosphärendruck comprimirt.

Gewicht des Gases 1130. — *Keine* bemerkbare Wirkung.

Bei geringerer Compression stand um so weniger eine Wirkung zu erwarten.

7. Wasserstoffgas.

30) Das Gas wurde durch Zink und Schwefelsäure dargestellt, durch Chlorcalcium getrocknet, und die vorher ausgespülte Kugel bis zu einer Spannung von 1456^{mm} damit angefüllt. Zweitens wurde durch Oeffnen des Hahnes das Gas auf die gewöhnliche Spannung gebracht. Drittens wurde aus der Kugel das Wasserstoffgas bis auf 5^{mm} Spannung evacuirt, so dass keine Spur von Luft mehr in der Kugel sein konnte. In unmittelbarer Nähe der Pole war in den beiden ersten Fällen, wo die Kugel mehr oder weniger Gas enthielt, und in dem dritten Falle, wo die Kugel leer war, kein Unterschied in der magnetischen Wirkung zu sehen. Wenn aber die Kugel in einiger Entfernung von den Polen äquilibrirt war, zeigte sich eine *stärkere* Abstossung, wenn die Kugel gefüllt, als wenn sie leer war. Das Wasserstoffgas ist *diamagnetisch*. Maassbestimmungen konnten einstweilen nicht gemacht werden, und stehen auch kaum wohl in Aussicht, wenn unser Gas wirklich *ganz* frei von Sauerstoffgas war.

8. Gemenge von Sauerstoffgas und Wasserstoffgas.

31) Bei einem Barometerstande von 756^{mm} wurden in den calibrirten Gasbehälter 153 Kubikcentimeter Wasserstoffgas gebracht; das Quecksilber in demselben stand 100^{mm} über dem äusseren Niveau. Dann wurde Sauerstoffgas hinzugeleitet, bis der Gasbehälter 199 Kubikcentimeter fasste, wobei im Innern desselben das Quecksilber noch

10^{mm} höher stand. Die Kugel wurde mit dem Gasgemenge ausgespült und dann mit demselben gefüllt.

Versuchsreihe VIII.

1. Gewicht des Gemenges 414. — Magnetische Anziehung 110.

2. Spannung 756^{mm}. — Gewicht des Gemenges 230, magnetische Anziehung 62.

Aus den obigen Angaben ergiebt sich, dass der Gasbehälter bei dem äusseren Atmosphärendrucke 132,8 Kubikcentimeter Wasserstoffgas und 63,6 Kubikcentimeter Sauerstoffgas enthielt; an Gewicht also (das Gewicht eines Kubikcentimeters Luft als Einheit genommen) Wasserstoffgas 9,14 und Sauerstoffgas 70,19.

Die Analyse des Gemenges durch das Eudiometer gab auf 117 Volumentheile des Gemenges $34\frac{1}{4}$ Volumentheile Sauerstoffgas und $82\frac{3}{4}$ Wasserstoffgas, auf Gewicht reducirt 5,7 Wasserstoffgas und 37,8 Sauerstoffgas.

Da das Gewicht des die Kugel füllenden Sauerstoffgases bei 756^{mm} Spannung und der Temperatur, unter welcher beobachtet wurde, 565 beträgt, und hiernach das entsprechende Gewicht des Wasserstoffgases sich auf 35 berechnen lässt, so erhalten wir nach der zweiten Bestimmung das Gewicht des in dem Gemenge enthaltenen Sauerstoffgases, das wir x nennen wollen, durch die folgende Gleichung:

$$x + 35\left(1 - \frac{x}{565}\right) = 230,$$

und daraus auch das Gewicht des Sauerstoffgases in der ersten Bestimmung.

Hiernach finden wir nach dreifacher Bestimmung für das Gewicht des Sauerstoffgases in beiden Versuchen:

1.	366	360	374,5,	Mittel 367,
2.	203,5	200	208	„ 204.

Wenn wir die Anziehung des Gemenges bloss dem darin enthaltenen Sauerstoffgase zuschreiben, so ergiebt sich hiernach für die Anziehung von 1000 Gewichtstheilen dieses Gases

1. 300,
2. 304.

32) Aus dem Vorstehenden folgt zunächst, dass auch bei einem Gemenge von Sauerstoffgas und Wasserstoffgas *die magnetische Anziehung der Dichtigkeit des Gemenges proportional ist.*

33) Ich bedaure, dass bei *derselben* Kette die Anziehung des reinen Sauerstoffgases nicht bestimmt werden konnte. Aber annäherungsweise wenigstens zeigen die vorstehenden Bestimmungen, *dass ein Gemenge von Sauerstoffgas und Wasserstoffgas sich in magnetischer Hinsicht so verhält, wie wenn das Sauerstoffgas allein und zwar seiner Masse nach angezogen würde.* Ob kleinere Abweichungen vorhanden sind, lässt aus unseren Bestimmungen um so weniger sich entnehmen, als auch über die angewandte Salpetersäure (deren Verschiedenheit die verschiedene Stromstärke unserer Kette an verschiedenen Tagen zur Folge hatte) keine Notiz sich mehr vorfindet; ich glaube jedoch annehmen zu können, dass die Wirkung etwas schwächer als gewöhnlich war. Jedenfalls sind wir bei der gefundenen etwas geringeren Anziehung zu dem Schlusse, dass die Abstossung des Wasserstoffgases hierbei im Spiele sei, noch nicht berechtigt.

9. Schwefelätherdunst.

34) Am Ende der XII. Versuchsreihe wurde noch in die leere Glaskugel bei der gewöhnlichen Temperatur Schwefelätherdunst nahe in dem Maximum seiner Dichtigkeit geleitet.

Gewicht des Dunstes 600. — Magnetische Wirkung *nicht* bemerkbar.

35) Das allgemeine Resultat, welches wir aus dem Vorstehenden ziehen, ist: dass unter den untersuchten Gasen Sauerstoffgas in magnetischer Hinsicht einzig dasteht; dass die Kraft, mit welcher der Magnet auf dasselbe wirkt, seiner Dichtigkeit proportional ist, und dass dieses Gesetz, annäherungsweise wenigstens, auch dann gilt, wenn mit anderen Gasen Sauerstoffgas mechanisch gemengt ist; dass aber, sobald es sich chemisch mit anderen Gasen verbindet, die neue Verbindung in die Reihe der übrigen einfachen Gase tritt, die sämmtlich, soweit die Beobachtungen vorliegen, sich ganz oder beinahe indifferent gegen den Magnetismus verhalten. Nur beim Wasserstoffgase habe ich bis jetzt unter Verhältnissen, wo auch die kleinste Wirkung sich zeigen muss, eine kleine Abstossung mit Sicherheit bemerkt. Ich schätze aber die Kraft, die hierbei thätig war, auf etwa nur den 200. Theil derjenigen Kraft, mit welcher bei gleichem Volume Sauerstoffgas angezogen wird.

36) Der Magnet bietet hiernach ein einfaches Mittel, in einem Gasgemenge die Gegenwart des freien Sauerstoffgases zu erkennen und selbst dann noch, wenn nur ein bis zwei Procent desselben vorhanden sind, sowie überhaupt die Menge dieses Gases, wenigstens bis auf $^1/_{10}$ genau, zu bestimmen. Hierzu wäre es am bequemsten, eine zuge-

schmolzene, mit einer bekannten Quantität Sauerstoffgas gefüllte Glaskugel von dünnem Glase ein für allemal aufzubewahren und eine zweite möglichst gleiche Kugel, die, mit gleich viel Sauerstoffgas gefüllt, gleich stark angezogen wird, für die Aufnahme des zu prüfenden Gases zu bestimmen und die magnetische Anziehung beider Kugeln gleich nach einander zu beobachten. Falls wie bei meiner Glaskugel, wenn sie ganz leer ist, und wenn in der Luft beobachtet wird, die Wirkung des Magneten vollständig verschwindet, so ist keine weitere Correction erforderlich, und das Verhältniss der magnetischen Anziehungen ist dann das Verhältniss der Sauerstoffgasmengen in den beiden Kugeln.

19.

Numerische Vergleichung des Magnetismus des Sauerstoffgases und des Magnetismus des Eisens.

(Annalen der Physik und Chemie, Bd. 83, S. 108—114. 1851.)

1) Um den Magnetismus des Sauerstoffgases mit dem Magnetismus des Eisens zu vergleichen, lag der Gedanke am nächsten, eine Kugel von Eisen, der untersuchten in einer Glashülle eingeschlossenen Sauerstoffgaskugel gleich, in dieselbe Lage gegen die Anker zu bringen und ihre Anziehung zu messen. Aber abgesehen von der Unreinheit des Eisens in grösserer Masse und den Schwierigkeiten, die der Ausführung sich entgegenstellen, würden die Versuche, wie ich früher nachgewiesen habe, schon deshalb keine exacten Resultate liefern, weil bei der zusammengedrängten, stark magnetischen Eisenmasse der in dieser Masse selbst hervortretende Magnetismus die vom Magneten ausgehende Kraft merklich stören würde, und demnach aus der beobachteten Anziehung der Masse die auf das einzelne Eisentheilchen stattfindende Anziehung sich nicht ableiten liesse.

2) Die von mir bei festen und flüssigen Körpern bereits angewandte Methode der Vergleichung scheint mir auch hier, wenn mit Vorsicht verfahren wird, die einzige zu sein, die zu genauen Resultaten führt. Bei den nachstehend mitgetheilten Bestimmungen hatte ich wiederum der Unterstützung des Herrn Geissler mich zu erfreuen. Der früher gebrauchte Waagbalken wurde durch einen etwas schwereren ersetzt. Die so veränderte Glaswaage gab auch noch bei einer Belastung von 20—50 gr. einen merklichen Ausschlag für 0,1 Mgr. Die angewandte Kette bestand wiederum aus 6 Grove'schen Elementen; es wurde gute Salpetersäure genommen und die Schwefelsäure, dem Volumen nach, durch 15 Mal so viel Wasser verdünnt.

3) Es war unthunlich, die Vergleichung unmittelbar zu machen; sie musste in der Art vorgenommen werden, dass zuerst der Magne-

tismus des Sauerstoffgases mit demjenigen einer magnetischen Flüssigkeit, und dann der Magnetismus dieser Flüssigkeit mit demjenigen des Eisens verglichen wurde. Für diese Flüssigkeit wurde eine nicht gesättigte Lösung von Eisenchlorid in Wasser gewählt, die in hinreichender Menge bereitet und in einem verschlossenen Glase aufbewahrt wurde. Nachdem in früher beschriebener Weise die bisher angewandte Glaskugel mit Sauerstoffgas von gleicher Spannung wie die äussere Luft gefüllt, und ihr Gewicht zu 573 bestimmt worden war (als Einheit nehmen wir hier wiederum den zehnten Theil eines Milligramms), wurde 4 Mal nach einander und dann, nachdem die Kette längere Zeit geöffnet gewesen, noch ein fünftes Mal die magnetische Anziehung des Sauerstoffgases bestimmt. Es ergab sich für dieselbe

238 240 238 240 239,

also im Mittel 239.

Hiernach wurde die evacuirte Kugel mit der Chloridlösung gefüllt; das Gewicht der Füllung betrug

501350,

die gleich darauf bestimmte magnetische Anziehung derselben

25917
25923
25923
25917
25979
26079
26088
26025.

Ich hätte mich auf die drei ersten Bestimmungen beschränkt, wenn nicht die vollständige Uebereinstimmung derselben mich veranlasst hätte, die überraschende Constanz der Kette längere Zeit zu prüfen. Die letzten fünf Bestimmungen wurden, nachdem die Kette wieder geschlossen, während der folgenden halben Stunde gemacht. Sie zeigen ein, wenn auch geringes, Wogen der Kette. Ich nehme das Mittel aus den vier ersten, weil sie den Bestimmungen über die magnetische Anziehung des Sauerstoffgases zunächst liegen, mithin

25920.

Wenn wir die magnetische Anziehung auf die Gewichtsmenge 1000 der angezogenen Substanz reduciren, so ergiebt sich hiernach

für Sauerstoffgas 417,103,
für die Salzlösung 51,700,

und für das Verhältniss der absoluten magnetischen Anziehung finden wir

8,0678 : 1.

4) Um in einer zweiten Versuchsreihe, bei der die Kette der früheren möglichst gleich genommen wurde, dieselbe Salzlösung mit *Eisen* zu vergleichen, musste ein Glasgefäss mit weiterer Oeffnung gewählt werden. Es fasste weniger als die früher angewandte Kugel, reichte aber bei einer grösseren Abplattung weiter über die beiden Halbanker hin.

Um das Eisen zugleich möglichst rein und in möglichst vertheiltem Zustande zu erhalten, reducirte ich dasselbe aus chemisch reinem Eisenoxyd, das ich der Güte des Hern Dr. C. Stammer verdanke, und das so fein war, dass es in einem glühenden Platintiegel das Ansehen einer Flüssigkeit hatte. Die Reduction geschah durch Wasserstoffgas, während das Oxyd durch eine Spirituslampe geglüht wurde. Diese Operation wurde ein paar Stunden lang fortgesetzt, bis keine Spur von Wasserdunst mehr sich niederschlug. Das reducirte Eisen wurde in seiner Atmosphäre von Wasserstoffgas gelassen, bis es gebraucht wurde, und dann das übrigbleibende für spätere Vergleichungen in einer zugeblasenen Glasröhre aufbewahrt.

Das Eisenpulver wurde im Verhältniss von 1 : 100 mit einer Mischung von frischem Schmalze und Wachs zu einer homogenen Masse verrieben, die — ein Kriterium für die Feinheit des Eisens — eine schwärzlich graue Färbung erhielt.

Das Glasgefäss hatte an seinem oberen Theile eine leichte messingene Fassung, und diese drei Vorsprünge, an welchen die zur Aufhängung dienenden dünnen Silberdrähte befestigt wurden. Die Anziehung des leeren Gefässes betrug

1166.

Das mit der Salzlösung angefüllte Gefäss ergab für diese

Gewicht 90425,
Magnetische Anziehung 20350.

Gleich darauf wurde die Eisenmischung in das Gefäss gebracht; für dieselbe fand sich

Gewicht 68720,
Magnetische Anziehung 333880.

Diese Anziehung wurde einige Mal nach einander gemessen; sie

schwankte, *ohne continuirlich zuzunehmen*, nur um einige Centigramme. Jede einzelne Bestimmung schloss eine Unsicherheit von etwa einem Centigramme ein.

Von den gefundenen Anziehungen ist die Anziehung des leeren Gefässes abzuziehen. Hiernach ergiebt sich, wenn wir diese Anziehung auf die Gewichtsmengen 1000 reduciren,

für die Salzlösung 212,154,
für die Eisenmischung 4841,59.

Das Verhältniss der magnetischen Anziehung der Salzlösung und der Eisenmischung ist hiernach

1 : 22,821,

woraus sich für die Salzlösung und das reine Eisen das Verhältniss

1 : 2304,9

ableiten lässt.

Bei dieser letzten Ableitung haben wir von dem Schmalze und dem Wachse der Mischung ganz abgesehen, weil am Schlusse der Versuchsreihe sich ergab, dass die Mischung beider sich diamagnetisch verhielt, aber so schwach, dass die dadurch hervorgebrachte Verminderung der magnetischen Anziehung innerhalb der Beobachtungsfehler fällt.

5) Zur Controle der letzten Bestimmung wurde, statt des durch uns selbst reducirten Eisens, feinstes Eisen aus der Apotheke angewendet, das, durch wiederholtes Sieben aus reinen Eisenfeilspänen gewonnen, in Salzsäure aufgelöst nur eine kleine Menge von Kohle zurückliess. Mit derselben Mischung in gleichem Verhältnisse verrieben, färbte es diese weisslich grau, und die einzelnen Eisentheilchen waren noch recht gut zu erkennen. Das Gewicht dieser neuen Eisenmischung, mit welcher dasselbe Gefäss angefüllt wurde, fand sich gleich

68700,

also dem Gewichte der früheren gleich, was für die beidesmalige gleichmässige Füllung des Gefässes spricht. Die magnetische Anziehung stimmte gleich nach dem Schliessen der Kette, soweit sie in der Eile beobachtet werden konnte, ebenfalls mit der früheren Anziehung überein; sie stieg aber bei längerem Aufstehen des Gefässes auf den Polen und namentlich nach jeder Abziehung zusehends; nach etwa einer Viertelstunde fand sich als Maximum nahe

389900.

Diese Beobachtung spricht für die Genauigkeit der früheren, liefert

aber selbst keine Bestimmung. Bei Anwendung einer Lupe zeigte sich, wie die Eisentheilchen sich im Innern gerichtet und zum Theil nach den Stellen der grössten Wirkung hingezogen hatten. Es erhellt hieraus die Nothwendigkeit, das Eisen möglichst vertheilt zu nehmen, auch das Glas nicht gar zu dünn zu wählen, und dem Schmalze, um es consistenter zu machen, hinreichend Wachs zuzusetzen.

6) Ich schalte hier noch eine gleich zu Anfang der zweiten Versuchsreihe gemachte Bestimmung des Magnetismus desjenigen Eisenoxyds, aus welchem wir das Eisen reducirt hatten, ein. Das Gewicht desselben in dem Glasgefässe war

83144,

seine magnetische Anziehung

37312.

Reduciren wir diese Anziehung, nachdem wir die Anziehung des Glases davon abgezogen haben, auf die Gewichtsmenge 1000, so finden wir

434,74,

und, mit dem Eisen verglichen, ergiebt sich, wenn wir den Magnetismus dieses letztern 1000000 setzen, für den Magnetismus des Oxyds

891.

Dieses Oxyd ist dasjenige, welches von allen Eisenoxyden, die ich früher untersucht habe, und die theils natürliche waren, theils künstlich dargestellt und als chemisch rein bezeichnet wurden, den kleinsten Magnetismus zeigte.*) Ich betrachte es daher als am meisten frei von Eisenoxydul, vielleicht als ganz frei davon, und nehme, so lange nicht ein noch weniger magnetisches Eisenoxyd sich findet, die letzte Zahl für den specifischen Magnetismus dieses Oxyds.

7) Wenn wir die Resultate der 3. und 4. Nummer in Verbindung bringen und den Magnetismus des Eisens wiederum gleich 1000000 setzen, so ergiebt sich, *bei gleichem Gewichte*, für den specifischen Magnetismus des Sauerstoffgases

3500.**)

Es ist hiernach der specifische Magnetismus des Eisens

$$\frac{2000}{7} = 285,7$$

Mal grösser als derjenige des Sauerstoffgases.

*) Annalen Bd. 74, S. 343. [Werke II, S. 85.]

**) Herr E. Becquerel giebt statt dieser Zahl die nahe zehn Mal kleinere Zahl 377.

8) Wenn wir den specifischen Magnetismus der Atome vergleichen wollen und in runder Zahl 350 als das Atomgewicht des Eisens nehmen, erhalten wir für Sauerstoffgas die $3\frac{1}{2}$ Mal grössere Zahl

12250.

Das Eisenatom hat hiernach einen

81,8

Mal grösseren Magnetismus als das Atom des Sauerstoffgases.

20.

Ueber die magnetische Polarität und die Coërcitiv-Kraft der Gase.

(Annalen der Physik und Chemie. Bd. 83, S. 299—302. 1851.)

1) Wenn man gasförmige Körper magnetisch sich verhalten und den Magnetismus so stark hervortreten sieht, wie beim Sauerstoffgase, so fühlt man sich natürlich zu der Betrachtung hingezogen, ob überhaupt ein Gas bei der leichten Verschiebbarkeit seiner kleinsten Theile sich in ganz gleicher Weise magnetisch verhalte, wie ein fester Magnet. Namentlich wird man aufgefordert, auf experimentalem Wege nachzuweisen, ob dasselbe sich polar verhalte oder nicht, ob im ersteren Falle das Gas seine Polarität unter der inducirenden Wirkung des Magneten (Elektromagneten) augenblicklich annehme, oder ob dazu eine gewisse Zeit erforderlich sei, ob es endlich auch nach Aufhören der magnetischen Wirkung noch fortfahre, magnetisch zu sein.

2) Man überzeugt sich bald, dass die magnetische Wirkung auf Sauerstoffgas noch um eine messbare Grösse gleich nach dem ersten Schliessen der Kette zunimmt: eine Zunahme, die nicht der zunehmenden Kraft des Elektromagneten zugeschrieben werden kann. Aber es schien mir gewagt, aus dieser Zunahme der Wirkung, die, wenn Sauerstoffgas in mechanischer Mengung in anderen Gasen vorkommt, bedeutend werden kann und dann anderen Ursachen zuzuschreiben ist, ohne Weiteres darauf schliessen zu wollen, dass das einzelne Gastheilchen Zeit brauche, um den ganzen Magnetismus anzunehmen, den es unter der jedesmaligen Induction anzunehmen im Stande ist. Die in dem Nachstehenden beschriebenen Versuche liefern indess nach meiner Meinung den unzweifelhaften Beweis für die Richtigkeit dieser Annahme.

3) Es wurde die mit dem Hahne verschlossene Kugel, welche zu den früheren magnetischen Versuchen gedient hatte, mit Sauerstoffgas gefüllt dicht über den genäherten Halbankern an der Waage aufgehängt und äquilibrirt. Die Kugel, welche leer weder Anziehung noch

Abstossung erfuhr, wurde nun von dem Elektromagneten angezogen und mit einer Kraft, die in runder Zahl 200 unserer Gewichtseinheiten (Zehntel Milligramme) gleich kam, festgehalten. Statt aber dieses ganze, zum Abziehen der Kugel nothwendige Gewicht auf die Schale der Waage aufzulegen, wurde nur ein Gewicht von etwa 20 genommen, so dass die Kugel noch mit einem Gewichte von 180 haftete. Wurde der Strom unterbrochen, so entfernte sich die Kugel langsam von den Ankern und konnte, wenn sie nicht schon zu weit war und dadurch ein zu grosses Bewegungsmoment erhalten hatte, durch erneuertes Schliessen der Kette in ihrer Bewegung von den Halbankern aufgehalten und zu denselben zurückgeführt werden. Wurde nach dem Oeffnen der Kette sogleich wiederum geschlossen, so blieb die Kugel haften. Wenn aber, statt den Strom in gleicher Richtung wieder herzustellen, derselbe durch einen Commutator *plötzlich umgekehrt* wird, so geht die Kugel bis zu einer bestimmten Entfernung von den Halbankern fort und wird dann wieder angezogen. Wartet man nach der Unterbrechung des Stromes, bis die Kugel in Folge jenes Uebergewichts der Schale von 20 Gewichtstheilen sich bereits um einige Millimeter entfernt hat, und kehrt dann erst den Strom um, so sieht man, wie die Kugel im Momente des Schliessens eine Abstossung erfährt und weiter sich entfernt, entweder ganz oder, wenn sie nicht zu weit war, um nach einiger Zeit umzukehren. Im letzteren Falle können wir durch mehrfaches nicht zu rasch auf einander folgendes Commutiren die Kugel ganz fortführen und sehen dann, wie bei jeder neuen Umkehrung des Stromes vier, fünf Mal nach einander die Kugel in Folge der Abstossung einen neuen Stoss erhält.

Wenn die Kugel nicht unmittelbar auf den beiden Halbankern aufsteht, sondern auf einer darauf gelegten indifferenten Platte, etwa von Glas, so entfernt sie sich nach der Commutation ganz von den Polen.

Diese Versuche beweisen augenscheinlich, dass das Sauerstoffgas in gleicher Weise wie feste Körper magnetische Polarität erhält, und dass diese nicht zugleich mit der inducirenden Wirkung wieder verschwindet; dass diese Pole sich umkehren mit der Umkehrung der inducirenden Pole, dass aber, wie mehr oder weniger bei jedem festen Körper, Zeit dazu erforderlich ist. Die Coërcitivkraft des Sauerstoffgases scheint mir vollständig erwiesen.[1])

Das Sauerstoffgas behält diese Coërcitivkraft auch dann, wenn es mit anderen Gasen mechanisch gemengt ist. Ich habe dies insbesondere bestätigt gefunden, wenn Sauerstoffgas zugleich mit Stickstoffgas, mit Kohlenoxydgas und mit Chlor in der Kugel sich befand. Endlich zeigt sich die fragliche Coërcitivkraft auch noch bei *gewissen* chemischen

Verbindungen des Sauerstoffgases mit *Stickstoffgas*, bei Stickstoffoxydgas NO und salpetriger Säure N_2O_3, in welchen das Sauerstoffgas, wie es nach meinen bisherigen Beobachtungen scheint, ganz ausnahmsweise seinen Magnetismus behält.*)

Die vollständige Analyse der in dem Vorstehenden beschriebenen Versuche ist eine complicirte; es kommt dabei die dreifache Anziehung auf die äussere Luft, das Glas und das eingeschlossene Gas in Betracht. Da aber die beiden ersten Anziehungen — was der Versuch zeigt, auch mit Rücksicht auf Coërcitivkraft — im Falle *unserer* Kugel sich compensiren, so können wir dieselben selbst dann, wenn der Magnetismus des zu untersuchenden Gases weniger stark ist, ganz unberücksichtigt lassen. Wenn die Kugel insbesondere mit Luft von gleicher Spannung gefüllt ist, so compensiren sich bei der geringen Masse der Glaskugel in der Nähe der Pole die Anziehung der freien und die Anziehung der eingeschlossenen Luft ebenfalls, und die beobachtete Wirkung können wir ebenso wohl allein der Anziehung der eingeschlossenen Luft, als allein der Anziehung des Glases zuschreiben.

---

*) Ich behalte mir ausführliche Mittheilungen hierüber vor. [Siehe die folgende Abhandlung.]

21.

Ueber das magnetische Verhalten der Gase.

(Annalen der Physik und Chemie, Bd. 84, S. 161—180, 1851.)

II.

1) Beim Abschlusse meiner beiden Abhandlungen über das magnetische Verhalten der Gase und insbesondere des Sauerstoffgases, welche im Junihefte der Annalen abgedruckt sind, schien es mir, im Einklang mit dem von Herrn Faraday erhaltenen Resultate, wahrscheinlich, dass Sauerstoffgas, sobald es mit einem anderen Gase eine chemische Verbindung eingeht, in dieser Verbindung seinen Magnetismus fast ganz aufgiebt. Aber gleich das erste Gas, welches ich seitdem untersuchte, widersprach dieser Annahme. Ich war um so mehr überrascht zu finden, dass Stickoxydgas sich stark magnetisch verhielt, als Stickoxydulgas bei unseren bisherigen Beobachtungsmitteln sich als ganz indifferent erwiesen hatte, und reine concentrirte Salpetersäure sich diamagnetisch verhält. Die Stickstoffverbindungen schienen hiernach vorzugsweise dazu geeignet, durch ihr Verhalten über die Natur des Magnetismus näheren Aufschluss zu geben. Aber diese Untersuchungen wurden dadurch sehr erschwert, dass von chemischer Seite über die Natur derjenigen dieser Verbindungen, die zwischen dem Stickoxyde und der Salpetersäure liegen und die hier besonders in Betracht kommen, noch eine gewisse Unsicherheit herrscht, welche für mich durch die unten mitgetheilten magnetischen Untersuchungen eher noch vermehrt als vermindert wird.

Der eigentliche Gegenstand dieser Mittheilung sind gerade diese Untersuchungen über das magnetische Verhalten der fraglichen Stickstoffverbindungen; ein paar andere Beobachtungen lasse ich vorangehen. Bei allen diesen Untersuchungen stand mir wiederum Herr Geissler zur Seite, der die mannigfachen Apparate, die nothwendig waren, nach gemeinsamer Besprechung mit ausgezeichneter Kunstfertigkeit sogleich ausführte.

1. Kohlenoxydgas.

2) Das Gas wurde aus oxalsaurem Kali und Schwefelsäure bei gelinder Erwärmung langsam entwickelt und zur Entfernung der gleichzeitig sich bildenden Kohlensäure nach einander durch zwei Liebig'sche Kaliapparate von der ihnen durch Herrn Geissler gegebenen neuen Form geleitet. Das so gewonnene Kohlenoxydgas zeigte in Kalkwasser keine Spur von Trübung mehr und brannte mit der bekannten schönen blauen Farbe. Durch eine 360^{mm} lange Chlorcalciumröhre wurde das Gas aus dem Behälter in die früher bereits beschriebene Glaskugel — die evacuirt vom Magnete nicht afficirt wurde — geleitet, und unter einem Drucke von ungefähr $1^3/_4$ Atmosphären comprimirt. Wie überall in dem Nachstehenden wurde der Strom durch sechs jedes Mal mit frischer Säure gefüllte Grove'sche Tröge erregt.

Gewicht des comprimirten Gases 892.
Keine bemerkbare magnetische Wirkung.

2. Kohlenoxydgas und Sauerstoff.

3) Es wurden zu 101,5 Kubikcentimeter reinen Kohlenoxydgases in den grösseren Gasbehälter 51 Kubikcentimeter Sauerstoffgas aus einem kleineren graduirten Gasbehälter übergeführt. Es ergaben sich zur Controlle der richtigen Ueberfüllung nahe 153 Kubikcentimeter der Mischung. Nachdem diese Mischung bis zum folgenden Tage gestanden hatte, wurde die Glaskugel unter dem stattfindenden Luftdrucke damit gefüllt.

Gewicht der Mischung 533,
Anziehung constant 69.

Die darauf mit Sauerstoffgas unter gleichem Druck gefüllte Kugel gab:

Gewicht des Sauerstoffgases 581,
Anziehung 203.

Die Anziehung von 1000 Gewichtstheilen Sauerstoffgas beträgt hiernach

349.

Betrachten wir in der Mischung das Kohlenoxydgas, in Uebereinstimmung mit der vorigen Beobachtung, als indifferent, so erhalten wir für die Anziehung von 1000 Gewichtstheilen Sauerstoffgas der Mischung die Zahl

356,

welche mit der früheren als übereinstimmend zu betrachten ist.

4) Bei einem ähnlichen Versuche, welcher dem eben mitgetheilten vorherging, enthielt das mit Sauerstoffgas gemischte Kohlenoxydgas noch eine namhafte Menge von Kohlensäure. (Die Entwickelung war

zu stark gewesen, und statt durch beide Kaliapparate war das Gas bloss durch einen derselben geleitet worden.) Es war dieses bei dem freilich nur angenähert bekannten Mischungsverhältnisse durch die in Beziehung auf das Gewicht des comprimirten Gases zu geringe magnetische Anziehung angedeutet, was dann später in dem zu grossen specifischen Gewicht des Gases unter gewöhnlichem Luftdrucke ausser Zweifel gestellt und auch auf chemischem Wege durch Anwendung von Kalkwasser nachgewiesen wurde. Die Kugel wurde zuerst mit Sauerstoffgas gefüllt.

Gewicht des Sauerstoffgases 570,
Anziehung 201.

Zu dem in dem Gasbehälter zurückgebliebenen Sauerstoffgase wurde nahe das doppelte Volumen des unreinen Kohlenoxydgases hineinentwickelt, und das Gasgemenge bei einem Drucke von 1245^{mm} Quecksilber, wovon 755 auf den Barometerstand kamen, in die Glaskugel hineingepresst.

Gewicht des Gases 1004,
Anziehung 101.

Dann wurde dem eingeschlossenen Gase durch Oeffnung des Hahnes die Spannung der äusseren Luft gegeben.

Gewicht des Gases 604,
Anziehung 61, 63, 62, Mittel 62.

Diese unvollständige Beobachtung habe ich bloss aus dem einen Grunde hier aufgeführt, weil aus ihr sich ergiebt, dass die magnetische Anziehung des Gasgemenges seiner Dichtigkeit genau proportional ist. Die Gewichte 1004 und 604 verhalten sich wie die entsprechenden Anziehungen 101 und 62.

5) Wenn wir uns nach den früheren Untersuchungen für berechtigt halten dürfen, die Anziehung unseres Gasgemenges bloss auf die unveränderte Anziehung des in demselben enthaltenen Sauerstoffgases zu beziehen, so erhalten wir eine vollständige chemische Analyse des Gasgemenges. Bei dem äusseren Luftdrucke finden wir hiernach für die Menge des Sauerstoffgehaltes in der Glaskugel[1])

$$201/62 \cdot 570 = 185 \ (176).$$

Es bleiben also in der Glaskugel noch 419 (438) Gewichtstheile Kohlenoxydgas und Kohlensäuregas gemengt, welche bei gleichem Drucke mit 385 (394) Gewichtstheilen Sauerstoffgas dasselbe Volumen einnehmen. Das specifische Gewicht der Mischung ist hiernach bestimmt, und somit auch die Menge jedes der beiden Bestandtheile.

3. Chlor.

6) Das Gas wurde aus Salzsäure und Mangansuperoxyd dargestellt. Ein Glascylinder, etwa 40^{mm} weit und 400^{mm} lang, war an seinem unteren Ende zu einer engen Röhre ausgezogen worden, in welche die Glaskugel, nachdem sie vorher evacuirt worden, luftdicht eingesteckt wurde. In diesen Cylinder wurde das sich entwickelnde Gas durch eine enge Röhre geleitet, die, oben eingekittet, bis nahe auf den Boden ging, während eine oben angeschmolzene Röhre das anfänglich mit Luft gemengte Gas in's Freie führte. Beim Oeffnen des Hahnes der Kugel füllte sich diese unter dem äusseren Luftdrucke mit dem Gase.

Gewicht des Chlorgases 1306. — Keine magnetische Wirkung.

4. Chlor und Sauerstoffgas.

7) Am folgenden Tage wurden 656 Gewichtstheile Chlor durch Oeffnen des Hahnes nach einem luftleeren Raume hinausgelassen, und dann unter Druck 430 Theile Sauerstoffgas hineingeleitet. Die Anziehung mehrmals, aber gleich nach einander bestimmt, fand sich

141.

Es zeigte sich indess, dass aus der Kugel, die anfänglich 1080 Gewichtstheile Gas enthielt, 30 derselben entwichen waren, wonach wir das Gewicht des Sauerstoffgases auf 418 reduciren müssen. Es wurde der Hahn geöffnet, bis das eingeschlossene Gasgemenge den äusseren Luftdruck angenommen hatte, und es entwichen 166 Gewichtstheile desselben. Bei der Bestimmung der magnetischen Anziehung fand sich, nachdem die Kette längere Zeit geschlossen blieb, eine fortwährende Zunahme derselben. Die Bestimmung wurde aufgegeben und bis auf den folgenden Tag verschoben, um den Gasen Zeit zu lassen, sich vollständig zu mischen. Bei der neuen Bestimmung der magnetischen Anziehung ergab sich längere Zeit hindurch für dieselbe fast constant 120. Dann ergab sich in den auf einander folgenden Bestimmungen 121, 122, 134 und zuletzt bei fortwährender Zunahme bis über 160. Nach längerer Unterbrechung des Stromes wiederholten sich dieselben magnetischen Anziehungen, indem fast 5 Minuten lang die constante Zahl 120 sich ergab, die dann in gleicher Weise zunahm.

Das Gewicht der Füllung der Kugel ergab sich durch Evacuirung und Ausspülen derselben durch Luft

880.

Dann wurde die Kugel bei gleichem Barometerstande, wie am vorgestrigen Tage, mit Sauerstoffgas gefüllt.

Gewicht des Sauerstoffgases 580,
Anziehung desselben 196.

8) Die beobachtete Zunahme der Anziehung des Gasgemenges scheint mir anzuzeigen, dass das Sauerstoffgas sich zuletzt an den Polen angesammelt hat. Es wird dies darum um so wahrscheinlicher, weil die anfänglich beobachtete constante Anziehung hinlänglich genau als diejenige sich herausstellt, welche bei der nachgewiesenen Indifferenz des Chlors dem Gehalte des Gemenges an Sauerstoffgas entspricht:

	Gewicht des O	Anziehung	Anziehung von 1000 O
Condensirtes Gemenge	418	141	337(1)
Nichtcondensirtes Gemenge	350(2) 341(3)	120	343 352
Reiner Sauerstoff	580	196	338

(1) Es ist hierbei die ungerechtfertigte Voraussetzung gemacht, dass die Kette an beiden Tagen genau dieselbe Stärke hatte.

(2) In der Voraussetzung berechnet, dass die Mischung eine gleichmässige geblieben, nach der Formel

$$1080 : 880 = 430 : x.$$

(3) Aus dem specifischen Gewichte des angewendeten Chlors nach der Formel

$$x + (580 - x)\frac{1306}{580} = 880$$

berechnet. Das specifische Gewicht findet sich, mit der Wägung von Gay-Lussac und Thénard bis auf eine Einheit in der letzten Decimale übereinstimmend, gleich 2,48.

5. Stickstoffoxyd NO.
6. Salpetrige Säure N_2O_3.
7. Unter-Salpetersäure N_2O_4.

9) Das Stickstoffoxydgas wurde aus reiner Salpetersäure und Quecksilber unter gelinder Erwärmung entwickelt und durch concentrirte Schwefelsäure in den Gasbehälter geleitet, und später beim Einlassen in die Glaskugel nochmals durch Chlorcalcium getrocknet. Das Gas erwies sich bei mehreren vorläufigen Versuchen stark magnetisch, wobei es keinen Unterschied machte, wenn bei seiner Darstellung Quecksilber durch Kupfer ersetzt wurde. Aus den nachstehenden Ver-

suchsreihen werden wir später seinen specifischen Magnetismus ableiten.

Der Angabe der Chemiker gemäss bildet sich, wenn man vier Volumina Stickoxydgas mit einem Volumen Sauerstoffgas mengt, salpetrige Säure N_2O_3, und wenn man zwei Volumina Stickoxydgas mit einem Volumen Sauerstoffgas mengt, Unter-Salpetersäure N_2O_4. Die beiden Verbindungen sind sehr wenig stabil, oder wenigstens ist es eine von beiden. Durch Hinzutreten von Sauerstoffgas geht die salpetrige Säure N_2O_3 in Unter-Salpetersäure N_2O_4, und diese durch Hinzutreten von Stickoxydgas in jene über. Bei der Bildung der Unter-Salpetersäure ziehen sich zwei Volumina Stickoxydgas und ein Volumen Sauerstoffgas in ein einziges zusammen. Wir überzeugten uns selbst davon und erhielten fast ganz diese Contraction, indem wir in dem bezeichneten Verhältnisse die beiden Gase möglichst getrocknet über Quecksilber zusammenbrachten. Ueber die Contraction bei der Bildung der salpetrigen Säure fand sich in den mir zugänglichen Quellen nichts vor. Wir machten in dieser Hinsicht zwei Bestimmungen, die ganz übereinstimmten, und von denen ich eine hier mittheile.

10) Es fanden sich in einem der calibrirten Gasbehälter durch Quecksilber abgesperrt

134

Kubikcentimeter Stickoxydgas. In einen zweiten kleineren Gasbehälter wurden

33,5

Kubikcentimeter Sauerstoffgas gebracht und in den ersten Gasbehälter übergefüllt. Nachdem das Gasgemenge die Temperatur der umgebenden Luft wieder angenommen, fanden sich in demselben

103,5

Kubikcentimeter Gas. Es hatten sich also vier Volumina Stickoxydgas und ein Volumen Sauerstoffgas auf nahe drei Volumina contrahirt. Diese Contraction ist dieselbe, als wenn sich das Volumen Sauerstoffgas und zwei Volumina Stickoxydgas zu einem Volumen Unter-Salpetersäure contrahirt und dann mit den beiden übrig bleibenden Volumina Stickoxydgas ohne Contraction gemengt oder verbunden hätten.[2])

Versuchsreihe I.

11) Mit demselben Stickoxydgase, welches zu den eben erwähnten Bestimmungen gedient hatte, wurde die Glaskugel unter einem kleinen Drucke gefüllt.

Gewicht des Gases 574,
Anziehung 91.

Der Hahn der Glaskugel wurde geöffnet, bis das Gas in derselben die Spannung der äusseren Luft angenommen hatte.

Gewicht des Gases 530,
Anziehung 83, 84.

Darauf wurde die Glaskugel mit der Mischung von Stickoxydgas und Sauerstoffgas, welche salpetrige Säure giebt, unter dem äusseren Luftdruck gefüllt.

Gewicht des Gases 848,
Anziehung 63.

Es verhielt sich also auch das salpetrige Gas entschieden magnetisch. Dann wurde die Kugel unter gleichem Drucke mit Sauerstoffgas gefüllt.

Gewicht desselben 561,
Anziehung 184.

Versuchsreihe II.

12) Statt das Stickoxydgas und das Sauerstoffgas über Quecksilber sich vereinigen zu lassen, erschien es bald rathsamer, die beiden Gase in der Glaskugel selbst zu mischen.

Die Glaskugel wurde unter dem äusseren Luftdrucke zuerst mit Sauerstoffgas, dann, nachdem man sich davon überzeugt, dass die leere Kugel sich indifferent gegen den Magneten verhielt, mit Stickoxydgas gefüllt.

1. Gewicht des Sauerstoffgases 579,
Magnetische Anziehung 199.
2. Gewicht des Stickoxydgases 534,
Magnetische Anziehung 87.

Ohne den Hahn der Glaskugel zu öffnen, wurde diese auf den früher beschriebenen Apparat aufgesteckt, dieser Apparat mit Sauerstoffgas zuerst ausgespült und dann bei einem Drucke von ungefähr 100^{mm} Quecksilber gefüllt. Als hierauf der Hahn einen Moment geöffnet wurde, drang Sauerstoffgas mit Gewalt hinein.

3. Gewicht des hinzugetretenen Sauerstoffgases 151,
Magnetische Anziehung 55.

Es wurde dieselbe Operation noch vier Mal nach einander wiederholt; zuletzt blieb der Hahn so lange geöffnet, bis der Druck des Gasgemenges in der Kugel mit dem Drucke der äusseren Luft gleich geworden war.

4. Gewicht des hinzugetretenen Sauerstoffgases 53,
Anziehung 33.

5. Gewicht des hinzugetretenen Sauerstoffgases 109,
Anziehung 19.
6. Gewicht des hinzugetretenen Sauerstoffgases 40,
Anziehung 51,
7. Gewicht des hinzugetretenen Sauerstoffgases 200,
Anziehung 101.

Versuchsreihe III.

13) Eine zweite ganz ähnliche Versuchsreihe gab die folgenden Bestimmungen. Die Kugel wurde unter dem äusseren Luftdrucke mit Stickoxydgas gefüllt.

1. Gewicht des Gases 534,
Anziehung 85,
2. Gewicht des hinzugetretenen Sauerstoffgases 64,
Anziehung 69, 68.
3. Gewicht des hinzugetretenen Sauerstoffgases 107,
Anziehung 42, 42, 43.
4. Gewicht des hinzugetretenen Sauerstoffgases 103,
Anziehung 20,
5. Gewicht des hinzugetretenen Sauerstoffgases 227,
Anziehung 85, 86, 86.

Das Gasgemenge hatte die Spannung der äusseren Luft angenommen. Die Kugel wurde evacuirt und mit Sauerstoffgas gefüllt.

Gewicht des Sauerstoffgases 583,
Anziehung 205, 206.

Versuchsreihe IV.

14) Am folgenden Tage wurde umgekehrt verfahren. Die zuletzt mit dem Sauerstoffgas gefüllte Kugel gab dieselbe Anziehung, nämlich 206. Zu dem Sauerstoffgase in derselben wurde Stickoxyd geleitet, was nur langsam und unter entschiedenem Druck geschehen konnte.

Gewicht des hinzugetretenen NO 441,
Anziehung 130.
Gewicht des hinzugetretenen NO 517,
Anziehung 44.

Bei dem letzten Hinzutreten des Sauerstoffgases fand noch ein Druck von 120^{mm} Quecksilber statt. Die Kugel wurde durch Schwefeläther abgekühlt, bis dieser Druck verschwunden war. Am nächsten Tage ergab sich für die magnetische Anziehung bei Anwendung einer ähn-

lichen Kette nahe dieselbe. Beim Oeffnen des Hahnes zeigte sich eine kleine Spannung des eingeschlossenen Gases.

Die letzten drei Versuchsreihen hatten verschiedenartige Fragen und Experimentaluntersuchungen hervorgerufen, von denen später die Rede sein wird. In Folge davon erschien es wünschenswerth, die früheren Versuche nochmals zu wiederholen und dabei einerseits auf das Trocknen der Gase die grösste Sorgfalt zu verwenden und andererseits genau die störenden Umstände bei der Bestimmung der magnetischen Anziehung unserer Gasgemenge zu beobachten.

Versuchsreihe V.

15) Die Glaskugel wurde mit Stickoxydgas gefüllt:

Gewicht 532,
Magnetische Anziehung 82.

Dann wurde unter Anwendung von Druck Sauerstoffgas hineingebracht, indem jedesmal der Hahn der Glaskugel zwei Mal nach einander geöffnet und so rasch als möglich wieder geschlossen wurde. Das Gewicht des Sauerstoffgases, das nach einander hineintrat, betrug:

108 135 109,

wonach sich entsprechend die folgende magnetische Anziehung ergab:

47 17 27.

Beim ersten Einströmen des Sauerstoffgases in die mit Stickoxydgas gefüllte Glaskugel bildete sich in der Mitte derselben anfänglich ein tief rothgelb gefärbtes Gas, das allmälig die ganze Kugel gelblich roth färbte. Schliesslich wurden noch

168

Sauerstoffgas zugelassen, wonach die Spannung des Gases in der Kugel dem äusseren Luftdrucke gleich kam. Als die Waagschale, um die Kugel allmälig von den Halbankern abzuziehen, mit 61 belastet wurde, tanzte die Glaskugel, bald angezogen, bald abgestossen, auf den Ankern oft 10—12 Mal auf und ab, bis sie sich in Folge einer stärkeren Abstossung so weit entfernte, dass sie ganz abgezogen wurde. Es spricht dieses unzweifelhaft für eine innere Thätigkeit, die in der Gasmischung vor sich ging. Nach einiger Zeit ergab sich eine Anziehung von

98.

Am folgenden Tage fand sich bei ähnlicher Kette eine constante Anziehung von

78.

Versuchsreihe VI.

Die Anziehung des Sauerstoffgases wurde zwei Mal nach einander bei wiederholter Füllung bestimmt, zuerst bei einer Verdünnung von einigen Millimetern Quecksilberdruck.

Gewicht des Sauerstoffgases 557,
Anziehung 196.
Gewicht des Sauerstoffgases 564,
Anziehung 197.

Zu dem Sauerstoffgase der zweiten Bestimmung wurde drei Mal nach einander Stickoxydgas hineingedrückt, dessen Gewicht bezüglich

158 208 320

sich ergab. Die Anziehung sank nach dem ersten Zuströmen auf

162

(nahm aber, nachdem die Kette längere Zeit geschlossen blieb, bis 176 wieder zu), nach dem neuen Einströmen auf

143

und nach dem dritten auf

92.

Am folgenden Tage fand sich auch diese letzte Anziehung bei ähnlicher Kette vermindert auf

75.

16) Aus den vorstehenden Versuchsreihen ist zunächst die *starke Anziehung*, welche Stickoxydgas erleidet, ersichtlich; aus I., II. und V. können wir den specifischen Magnetismus dieses Gases berechnen. Wir werden hierbei den specifischen Magnetismus des Sauerstoffgases als Einheit zu Grunde legen und können dann den specifischen Magnetismus der Gase, einmal bei gleichem *Volumen*, das andere Mal bei gleicher *Masse* bestimmen.

Aus I. ergiebt sich zunächst, wenn wir die Anziehung des comprimirten und nicht comprimirten Stickoxydgases auf die Gewichtsmenge 1000 beziehen, für diese Anziehung

159 157

und für die Anziehung der gleichen Gewichtsmenge Sauerstoffgas bei Anwendung derselben Kette

328.

Der specifische Magnetismus des Stickoxydgases findet sich hiernach

0,483 (0,488) 0,479.

Aus II. und III. ergiebt sich für die Anziehung von 1000 Stickoxydgas

163 154 (159),

von 1000 Sauerstoffgas

344 351,

und hiernach für den specifischen Magnetismus des erstgenannten Gases bei gleichem Gewichte

0,475 (0,480) 0,453.

Das Mittel aus den vier Beobachtungen giebt

0,472 (0,476).

17) Wenn wir bei mittlerem Barometerstande 570 und 534 für die Gewichte des die Glaskugel füllenden Sauerstoffgases und Stickoxydgases nehmen, Zahlen, die den specifischen Gewichten dieser Gase gut entsprechen, so leiten wir aus der letzten Zahl für den specifischen Magnetismus des Stickoxydgases bei gleichem *Volumen* die folgende ab:

0,443 (0,456).

Ueberrascht von dem grossen specifischen Magnetismus des Stickoxydgases, der nur wenig geringer ist, als wenn die beiden einfachen Gase, aus denen es besteht, nicht chemisch, sondern nur mechanisch verbunden wären, mögen wir uns nach den sonstigen charakteristischen Eigenschaften desselben fragen, und finden dann diejenigen, dass es aus gleichen Volumina Sauerstoffgas und Stickstoffgas besteht, bei deren Verbindung keine Contraction stattfindet.

18) Es ist ferner auch der *entschiedcne Magnetismus der gasförmigen salpetrigen Säure* N_2O_3, die man erhält, wenn man vier Volumina Stickoxydgas und ein Volumen Sauerstoffgas zusammenbringt, durch die vorstehenden Beobachtungen auf unzweideutige Weise festgestellt. Aber eine genaue Bestimmung desselben hat unerwartete Schwierigkeiten dargeboten.[2])

Bei der Mengung über Quecksilber giebt die I. Versuchsreihe für den specifischen Magnetismus der salpetrigen Säure bei gleichem Volumen

0,342.*)

Er verhält sich derselbe also zu dem aus derselben Versuchsreihe abgeleiteten specifischen Magnetismus des Stickoxydgases wie

3 : 4.

---

*) Diese Zahl und die aus ihr abgeleitete sind offenbar zu gross. Denn ein Theil des Gases hat sich wahrscheinlich in Folge von etwas Wasser, das durch die angewandten Trocknungsmittel nicht fortgeschafft werden konnte, zersetzt. Dafür spricht auch das zu kleine specifische Gewicht des Gases (nach der Berechnung musste die Kugel statt 848 nahe 900 fassen), sowie der Umstand, dass die Oberfläche des das Gas absperrenden Quecksilbers nicht ganz unangegriffen blieb.

Bei gleichem Gewichte ist nach I. der specifische Magnetismus der salpetrigen Säure

0,226.

19) Da salpetrige Säure und Unter-Salpetersäure so wenig stabile Verbindungen sind, dass beim Zutreten von Sauerstoffgas salpetrige Säure N_2O_3 sogleich in Unter-Salpetersäure N_2O_4, und beim Zutreten von Stickoxydgas diese sogleich in jene sich verwandelt, da es ferner bei der Bildung dieser beiden Säuren, bei derselben Proportion von Stickoxydgas und Sauerstoffgas, einerlei ist, ob dieses allmälig zu jenem oder jenes allmälig zu diesem tritt, so erscheint es am natürlichsten, anzunehmen, dass, so lange in der Verbindung auf ein Volumen Sauerstoffgas mehr als vier Volumina Stickoxydgas kommen, nur salpetrige Säure N_2O_3 mit Ueberschuss von Stickoxydgas NO sich bildet; dass, wenn mehr als zwei und weniger als vier Volumina Stickoxydgas auf ein Volumen Sauerstoffgas kommen, die Säuren N_2O_3 und N_2O_4 in gegebenem Verhältnisse beide entstehen, und dass endlich, wenn weniger als zwei Volumina Stickoxydgas in der Verbindung sich finden, nur die höhere Säure N_2O_4 mit überschüssigem Sauerstoffgase sich bildet. Diese Annahmen müssen sich bestätigt finden, wenn wir die Mischungen, wie wir sie in der Glaskugel gemacht haben, magnetisch bestimmen. Wenn diese Bestimmungen bei solchen Mischungen so sicher wären, wie beim reinen Sauerstoffgase, so könnten wir daraus den specifischen Magnetismus der beiden in Rede stehenden sauren Gase mit grosser Genauigkeit ableiten. Den beiden später unternommenen Versuchsreihen V. und VI. schenke ich, der sorgfältigeren Trocknung der Gase und der Glaskugel wegen, ein viel grösseres Vertrauen, als den übrigen. Die Resultate stellen wir in den folgenden beiden Tabellen zusammen, wobei wir in Uebereinstimmung mit der 17. Nummer angenommen haben, dass 534 Gewichtstheile Stickoxydgas $\frac{1}{4}\cdot 570$ Sauerstoffgas fordern, um salpetrige Säure, und $\frac{1}{2}\cdot 570$ Sauerstoffgas, um Untersalpetersäure zu bilden.

V.

		Anziehung berechn.	Anziehung beob.
1.	532NO		82
2.	$532NO + 108O = 127NO + 513N_2O_3$	51	47
3.	$532NO + 243O = 187N_2O_3 + 588N_2O_4$	12	17
4.	$532NO + 352O = 816N_2O_4 + 68O$	24	27
5.	$532NO + 520O = 816N_2O_4 + 236O$	82 (80)	78

VI.

		Anziehung berechn.	beob.
1.	564O		197
2.	564O + 158NO = 480O + 242N_2O_4	168	173
3.	564O + 366NO = 369O + 561N_2O_4	129	140
4.	564O + 686NO = 198O + 1052N_2O_4	69	75

20) In diesen Tabellen ist da, wo das Gasgemenge aus Unter-Salpetersäure und überschüssigem Sauerstoffgase besteht, die berechnete Anziehung diejenige, welche der Menge dieses Sauerstoffgases entspricht. Hierbei ist in der zweiten Tabelle für die Anziehung des Sauerstoffgases die beobachtete [197], in der ersten dagegen für die Anziehung des Sauerstoffs der Kugel bei dem stattfindenden Barometerstande in runder Zahl 200*) genommen. Die innerhalb der Beobachtungsfehler liegende Uebereinstimmung der Rechnung mit der Beobachtung beweist, *dass die Unter-Salpetersäure nicht mehr merklich magnetisch ist*

21) Die genommenen relativen Mengen von Sauerstoffgas und Stickoxydgas sind nicht vortheilhaft zur genauen Bestimmung des specifischen Magnetismus der salpetrigen Säure. Zum Behuf dieser Bestimmung können wir die indifferente Unter-Salpetersäure in V., 3 ganz vernachlässigen. Aber hier haben die wahrscheinlichen Beobachtungsfehler auf das Resultat einen zu grossen Einfluss. In V., 2 können wir den Magnetismus von 127NO, für den sich die Anziehung 20 ergiebt, von der beobachteten Anziehung 47 in Abzug bringen, wonach 513N_2O_3 der Anziehung 27 entspricht. Dies giebt für das die Kugel bei gewöhnlichem Luftdrucke füllende Gas, dessen Gewicht 902 ist, die Anziehung 48, wonach sich bei gleichem Volumen der specifische Magnetismus des Stickoxydgases und der salpetrigen Säure wie 82 zu 48 oder wie

$$3 : 1,76$$

verhält. Eine (beobachtete) Anziehung von 3 Gewichtstheilen mehr, die nur 0,3 Milligramm betragen, würde dieses Verhältniss auf

$$3 : 2$$

bringen.

22) Wenn wir dieses Verhältniss als das richtige nehmen, *so finden wir den specifischen Magnetismus der salpetrigen Säure gerade so, als wenn dieselbe ein blosses Gemenge von Stickoxydgas und Unter-Salpetersäure wäre.*

---

*) [Bei Plücker's Berechnung sind aber diese beiden Zahlen verwechselt.]

Es ist nämlich

$$\frac{2}{3}\text{ Vol. } N_2O_3 = \frac{1}{3}\,[4 \text{ Vol. } NO + 1 \text{ Vol. } O_2]$$
$$= \frac{1}{3}\text{ Vol. } N_2O_4 + \frac{2}{3}\text{ Vol. } NO,$$

und hiernach würde sich das obige Verhältniss ergeben, wenn wir allein das Stickoxydgas in dem Gemenge als magnetisch wirksam betrachten.[3])

Nach aller Analogie in Beziehung auf magnetische Anziehung ist die gasförmige Unter-Salpetersäure N_2O_4 *eine wirklich chemische Verbindung;* wenn sie ein Gemenge wäre, in dem salpetrigsaures Gas *nicht* chemisch verbunden vorkäme, so müsste sie einen entschiedenen Magnetismus zeigen. Aber höchst merkwürdiger Weise erhalten wir so wenig aus der bei ihrer Bildung stattfindenden Contraction der Gase, als aus *dem magnetischen Verhalten* ein Criterium dafür, dass die Salzverbindungen eingehende salpetrige Säure nicht ein blosses Gemenge von Stickoxydgas und Unter-Salpetersäure, sondern eine wirkliche chemische Verbindung ist.

Hiernach können wir denn auch ebenso wenig als aus der stattfindenden Contraction aus der Grösse der magnetischen Anziehung erkennen, ob sich bei vorwaltendem Stickoxydgase durch den allmäligen Zutritt von Sauerstoffgas salpetrige Säure oder Unter-Salpetersäure bildet.

23) In der ersten der beiden vorstehenden Tabellen ist die *berechnete* Anziehung diejenige, welche sich ergiebt, wenn wir der salpetrigen Säure bei gleichem Volumen einen specifischen Magnetismus beilegen, der zwei Drittheile des specifischen Magnetismus des Stickoxydgases ist, oder, was zu gleichem Resultate führt, wenn wir annehmen, dass auch bei überschüssigem Stickoxydgase sogleich Unter-Salpetersäure sich bildet. Die Rechnung stimmt mit der Beobachtung gut überein.

Wenn (durch Gegenwart von Wasser) eine theilweise Zersetzung der beiden sauren Gase stattgefunden hat, so muss die Berechnung kleinere Zahlen liefern als die Beobachtung. Dieses findet bei den Versuchsreihen III. und IV. in grösserem Maasse statt, als dass es auf Beobachtungsfehler in der Bestimmung der magnetischen Anziehung zu schieben sei.

24) Salpetrige Säure und Unter-Salpetersäure lassen sich beide durch eine Kältemischung leicht condensiren. Der Gedanke lag also nahe, die Gase, um sie rein zu erhalten, aus den condensirten Flüssigkeiten zu nehmen. Mehr aber als diese Rücksicht bewog mich eine andere, die Condensation dieser Gase zu unternehmen. In der salpe-

trigen Säure bot sich die erste Gelegenheit dar, auf die in die innerste Natur des Magnetismus eingreifende Frage eine Antwort zu suchen, *ob die magnetische Anziehung eine Molecularwirkung sei, unabhängig von dem Aggregatzustande*, ob insbesondere ein magnetisches Gas, nachdem es condensirt worden, seinen Magnetismus in der Art behält, dass, wenn das Gas nach der Condensirung etwa 500 Mal dichter wird, ein mit der Flüssigkeit angefülltes Volumen auch 500 Mal stärker vom Magneten angezogen wird, als wenn dasselbe Volumen mit dem Gase angefüllt ist. Keine andere Analogie liegt hier vor, als dass diamagnetische Körper, wie Schwefel und Phosphor, nicht merklich ungleich diamagnetisch sind im festen und flüssigen Zustande.

25) Die Unter-Salpetersäure wurde unter gleichzeitiger Entwickelung von Sauerstoffgas aus sorgfältig getrocknetem Bleioxyde dargestellt und in einer Kältemischung von unter — 20° condensirt. In der Kälte war die Flüssigkeit wasserhell, bei 0° gelb und bei der äusseren Temperatur schon rothgelb. Die Flüssigkeit verhielt sich entschieden *diamagnetisch.* Dieser Diamagnetismus aber nach dem Verhältniss der Masse auf das entsprechende Gas übertragen, würde dieses Gas bei unseren Beobachtungsmitteln indifferent gegen den Magneten machen. Das aus der Flüssigkeit durch ein erstes Oeffnen des dieselbe absperrenden Hahnes in die etwas abgekühlte Glaskugel überfüllte Gas zeigte eine magnetische Anziehung von 25. Die Kugel wurde mehrere Tage mit ihrer Füllung zurückgelegt. Es zeigte sich in derselben eine Spur von Flüssigkeit und beim Oeffnen eine Spannung des Gases, das zum Theil, unter Verschwinden der Flüssigkeit, herausströmte. Die Temperatur betrug 22°, das Gewicht des in der Kugel zurückgebliebenen Gases, das später durch Evacuirung bestimmt wurde, 1282.[4]) Die nun wiederum über den Magnetpolen aufgehängte Glaskugel wurde bei einer Belastung von 5 Gewichtstheilen in einer Entfernung von 2^{mm} längere Zeit gehalten, ging dann aber zu den Polen hin, tanzte auf denselben auf und ab, dabei immer aber nur kleine Ausschläge machend.

Die ursprünglich beobachtete Anziehung schien hiernach von Sauerstoffgas herzurühren, das von der flüssigen Unter-Salpetersäure absorbirt und beim Ueberfüllen des Gases zuerst wieder abgegeben worden war. Um diese Vermuthung zu bestätigen, wurde die Flüssigkeit durch Anwendung von Kälte grösstentheils überdestillirt, und am Ende dieser Destillation die Glaskugel mit dem sich entwickelnden Gase bei sorgfältigem Ausschlusse von Luft und Feuchtigkeit gefüllt. Die Anziehung des Gases betrug beim Aufliegen der Kugel auf den Magnetpolen höchstens 3 unserer Gewichtseinheiten, bei einem Abstande von 2^{mm} war durchaus keine Wirkung mehr bemerkbar. Die

zurückgebliebene und die überdestillirte Flüssigkeit hatten sich in keiner Weise geändert.

26) Es scheint mir wahrscheinlich, dass das *reine* Gas N_2O_4 nicht mehr merklich vom Magneten afficirt wird, und dann spricht nichts dagegen, dass es nicht (sehr schwach) diamagnetisch ist.

27) Um die salpetrige Säure zu condensiren, wurde Stickoxydgas und Sauerstoffgas in getrennten gläsernen Gasometern über Wasser entwickelt, und das Ausströmen aus beiden durch Wasserdruck so regulirt, dass von dem erstgenannten Gase dem Volumen nach etwas mehr als das Vierfache des anderen ausfloss. Die austretenden Gase wurden einzeln durch 600^{mm} lange Chlorcalciumröhren getrocknet und traten dann durch enge Röhren in eine weitere, wo für die möglichste Mischung der Gase Sorge getragen worden war, und von da in den vorher getrockneten Condensationsapparat. Dieser war mit der Luftpumpe in Verbindung, so dass der ganze innere Raum, bevor das Gas ausströmte, mit trockener Luft ausgespült und dann evacuirt werden konnte. Die weitere Glasröhre, in welcher die beiden Gase sich mischten, erhielt eine Temperatur, welche die Siedhitze ganz oder nahe erreichte. Während der Operation, die immer regelmässig von statten ging, entwich fortwährend Stickoxydgas, das beim Eintritt in die Luft sich färbte. Die erhaltene Flüssigkeit war in der Kälte indigoblau, bei der gewöhnlichen Temperatur schon dunkelgrün. Wir konnten nicht anders annehmen, als dass wir die als flüssige salpetrige Säure beschriebene Flüssigkeit gewonnen hatten.

Gespannt, eine bedeutende magnetische Anziehung zu erhalten, fanden wir uns sehr enttäuscht, als sich unsere grüne Flüssigkeit in ähnlichem Maasse als die rothe *diamagnetisch* verhielt. Und ebenso verhielt sie sich auch dann noch, wenn sie sorgfältig überdestillirt wurde. Die überdestillirte Flüssigkeit war heller grün als die ursprüngliche. Als etwa nur noch ein Viertheil der Flüssigkeit übrig geblieben, hatte dieselbe das Ansehen der condensirten Unter-Salpetersäure, erhielt aber nach einigen Tagen wieder eine grünliche Färbung.

Das Gas aus unserer grünen Flüssigkeit zeigte die unerwartet schwache Anziehung 18. Beim Oeffnen des Hahnes der Glaskugel fand eine Spannung statt, 234 Gewichtstheile Gas entwichen, und mit ihnen verschwand die Spur von Flüssigkeit, welche sich gebildet hatte. Die Anziehung des zurückgebliebenen Gases betrug noch 15.

Ich glaube aus diesen Versuchen schliessen zu dürfen, dass weder unsere Flüssigkeit, noch das aus ihr genommene Gas reine salpetrige Säure ist. Allgemeinere Folgerungen zu ziehen, möchte voreilig sein und sich von meinem Standpunkte aus nicht geziemen.

22.

Sur le magnétisme des gaz.

(Extrait d'une lettre de Plücker à Arago. Comptes rendus XXXIII, 2me semestre, S. 301—302. 1851. Uebersetzt in Phil. Magazine (4) II, S. 503. 1851.)

J'introduis les gaz à examiner dans une boule de verre à parois minces, de 45 millimètres de diamètre, et qu'on peut fermer par un robinet également en verre. J'attache la boule à l'un des bras d'une balance sensible, indiquant $\frac{1}{10}$ de milligramme de la manière la plus nette. Le verre de ma boule est faiblement magnétique; son magnétisme est exactement compensé par l'action magnétique de l'air environnant, de sorte que l'action de l'aimant sur la boule, préalablement évacuée, est absolument nulle, tandis que l'attraction de la boule, quand elle est remplie d'un gaz ou comprimé, ou dilaté, est précisément égale à celle de ce gaz même. A la pression ordinaire, le poids de l'oxygène que la boule renferme est égal à environ 57 milligrammes, et l'attraction exercée sur ce gaz par l'électro-aimant, si l'on se sert de 6 éléments de Grove, est égale à 20 milligrammes.

1°. En comparant le magnétisme spécifique de l'oxygène à celui du fer, pris pour unité, j'ai trouvé 0,003500, nombre qui diffère beaucoup de celui donné par M. E. Becquerel, mais qui s'accorde assez bien avec l'évaluation faite par M. Faraday.

2°. L'oxygène perd son magnétisme sensible dans presque tous les gaz où il entre en combinaison chimique. Une exception, unique jusqu' ici, c'est l'oxyde d'azote (NO), dont le magnétisme est, en nombre rond, $\frac{2}{5}$ de celui de l'oxygène. Le protoxyde d'azote (N_2O) ne m'a pas donné la moindre trace d'action, c'est-à-dire que si cette action existe, elle n'équivaut pas à $\frac{1}{100}$ de celle exercée dans le cas de l'oxygène.

3°. Si dans la boule remplie d'oxyde d'azote on introduit peu à peu du gaz oxygène, le magnétisme diminue jusqu'à ce que la pro-

portion des deux gaz soit suffisante pour former de l'acide hyponitrique (N_2O_4). Alors l'action est sensiblement nulle. En ajoutant plus d'oxygène encore, le magnétisme reparaît et va toujours en croissant.

4⁰. L'acide hyponitrique condensé est un fluide diamagnétique; rien ne s'oppose jusqu'ici à admettre que le gaz, en proportion de sa masse, ne soit très faiblement magnétique.*) Tous mes efforts ont échoué pour décider cette importante question: le gaz acide nitreux (N_2O_3), qui est assez fortement magnétique, conserve-t-il, en se liquéfiant, son magnétisme spécifique?

5⁰. Le magnétisme de l'oxygène, de l'oxyde d'azote, ainsi que des mélanges magnétiques, est proportionnel à la densité des gaz.

6⁰. Un gaz magnétique, mêlé mécaniquement à un autre gaz indifférent quelconque, conserve son magnétisme, quelle que soit la densité du mélange; seulement, dans le voisinage des pôles, il paraît y avoir, jusqu'à un certain point, séparation des gaz, ce qui doit augmenter un peu l'attraction de la masse entière. Dans certains cas, cette séparation ne paraît pas avoir lieu instantanément; on observe, du moins dans un mélange d'oxygène et de chlore, que l'attraction magnétique augmente d'une manière uniforme, si la boule reste, pendant quelques minutes, soumise à l'induction magnétique de l'électro-aimant. L'attraction *primitive* s'est trouvée précisément celle qui répond à la quantité d'oxygène contenue dans le mélange.

7⁰. Un gaz magnétique ayant été pendant quelques moments attiré par l'électro-aimant, en est très-nettement repoussé si, au moyen d'un commutateur, on change la polarité de ce dernier. J'en conclus que les gaz possèdent ce qu'on à appelé la *force coercitive*, d'une manière trés prononcée.

---

*) [Nach Nr. 26 der vorhergehenden Abhandlung zu schliessen, sollte es heissen *diamagnétique*.]

23.

Ueber die Theorie des Diamagnetismus, die Erklärung des Uebergangs magnetischen Verhaltens in diamagnetisches und mathematische Begründung der bei Krystallen beobachteten Erscheinungen.

(Annalen der Physik und Chemie, Bd. 86, S. 1—34, 1852.)

Im December 1849 übergab ich der Societät der Wissenschaften zu Haarlem eine Abhandlung, deren letzter Theil, den Magnetismus der Krystalle betreffend, gleich darauf mit Hinzufügung einiger weiterer mathematischer Ausführungen mit Hinweglassung einiger Versuche, übrigens ganz unverändert, in französischer Sprache redigirt wurde. Diese Arbeiten, von officiellem Datum und für den Druck bestimmt, sind bis jetzt ungedruckt geblieben. Ich bin durch diesen Umstand denjenigen Arbeiten gegenüber, die die Herren Knoblauch und Tyndall über denselben Gegenstand seitdem bekannt gemacht haben [Pogg. Annalen Bd. 79, S. 233, Bd. 81, S. 481, Bd. 83, S. 289, 384], in eine schiefe Stellung gekommen. Gezwungen und nicht ohne einige Unlust setze ich mich nochmals hin, um die nachstehenden wortgetreuen Auszüge aus den mir vorliegenden Originalarbeiten zu machen.

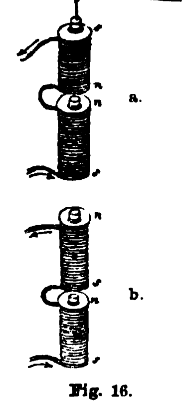


Fig. 16.

Erster Theil.

11) Es ist eine allbekannte Thatsache, dass eine Spirale, durch welche ein galvanischer Strom geleitet wird, einen hineingesteckten Eisentab zum Magneten macht. Ein eingesteckter Wismuthstab wird ebenfalls zum Magneten, nur sind die Pole desselben unter gleichen Verhältnissen die *umgekehrten*.

Ich nahm, um dieses durch den Versuch nachzuweisen, zwei gleiche hohle Spiralen, 120^{mm} lang, im Innern 26^{mm}, im Aeussern 52^{mm} dick (Fig. 16). Der Kupferdraht, aus dem sie gewickelt waren, hatte 5^{mm} im Durchmesser. Die beiden Spiralen wurden senkrecht über einander gestellt, und in

die untere ein Eisencylinder gebracht, der 130^{mm} lang und 21^{mm} dick war, während in der oberen Spirale ein Cylinder von Wismuth, 80^{mm} lang und 15^{mm} dick, in senkrechter Stellung an dem einen Arm einer feinen Waage aufgehängt und durch eine am anderen Arme aufgehängte Schale mit feinem Bleischrot in einer solchen Lage äquilibrirt wurde, dass die beiden Cylinder von Eisen und Wismuth nur 1^{mm} bis 2^{mm} von einander abstanden. Ein Strom von drei Grove'schen Elementen konnte durch jede der beiden Spiralen besonders und nach beliebiger Richtung geleitet werden. Zuvörderst wurde ein solcher Strom durch die untere Spirale geleitet: wir wollen annehmen so, dass im oberen Ende des Eisens der Nordpol sich bildete. In Folge hiervon wurde der Wismuthcylinder abgestossen, durch Hinwegnehmen von ein paar Schrotkörnern aber wieder in die frühere Lage zurückgebracht. Nun wurde auch der Strom durch die obere Spirale geleitet und zwar erstlich in derselben Richtung [Fig. 16a]: dann entfernte sich der Wismuthcylinder von Neuem von dem Eisencylinder und näherte sich demselben erst wieder nach Unterbrechung des Stromes. Wurde aber der Strom durch die obere Spirale in umgekehrter Richtung geleitet, so dass die Ströme in beiden Spiralen entgegengesetzt waren [Fig. 16b], so wurde der Wismuthcylinder angezogen und entfernte sich wieder nach Unterbrechung des Stromes in der oberen Spirale. Der Versuch wurde mehrmals wiederholt, die Wirkung war entschieden, wiewohl schwach. Immer der entsprechende Erfolg auch dann, wenn durch die Umkehrung des Stromes in der unteren Spirale das obere Ende des Eisenstabes zum Südpol geworden war.

12) Derselbe Versuch wurde, in der Absicht die Wirkung zu verstärken, modificirt, und dabei die untere Spirale durch den grossen Elektromagneten ersetzt (Fig. 17). Auf die Pole desselben wurden die beiden schweren Halbanker gelegt und mit ihren runden Kanten bis auf 8^{mm} bis 10^{mm} einander genähert. Dann wurde die eine der früheren Spiralen senkrecht so auf einen der beiden Halbanker gesetzt, dass der in derselben frei auf und ab sich bewegende Wismuthcylinder die obere Fläche des Halbankers beim Herablassen da berührte, wo die magnetische Erregung am stärksten war. Der Magnetismus des Elektromagneten wurde durch vier Grove'sche Tröge hervorgerufen, und dann der Wismuthcylinder so äquilibrirt, dass er von dem Halbanker um 2^{mm} abstand. Wurde hiernach der Strom von fünf anderen Grove'schen Trögen in solcher Richtung durch die Spirale geleitet, dass, wenn das Wismuth durch

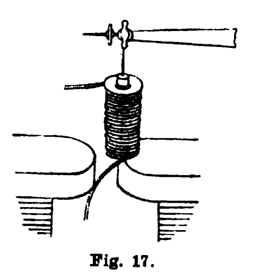


Fig. 17.

Eisen ersetzt worden wäre, über dem Anker, der ein Nordpol war, ein Südpol sich gebildet hätte, so ging der Wismuthcylinder zu 4^{mm} Abstand in die Höhe, kehrte aber bei Unterbrechung des Stromes in die frühere Lage wieder zurück. Alle Modificationen des ursprünglichen Versuches gaben auch hier das erwartete Resultat.

Um sicher zu sein, dass in dem letzten Versuche die beobachtete Wirkung nicht von fremden Ursachen herrühre, überzeugte man sich noch durch directe Versuche, dass auch bei Anwendung von neun Trögen einerseits in einem grossen parallelepipedischen Anker von weichem Eisen durch den Strom der darauf gestellten Spirale kein merklicher Magnetismus erregt wurde, und dass andererseits, wenn das Wismuth in der durchströmten Spirale dicht über diesem Anker, wenn er nicht auf dem Elektromagneten lag, schwebend angebracht wurde, durchaus keine Anziehung oder Abstossung desselben sich zeigte.

13) Die beschriebenen Versuche beweisen unzweifelhaft, dass die Spirale auf den Wismuthstab wirkt, und dass diese Wirkung mit der Umkehrung des Stromes die entgegengesetzte wird, also eine *polare* ist. Die Wirkung des magnetischen Poles auf das Wismuth stimmt mit der Wirkung der Spirale entweder überein oder ist die entgegengesetzte: und Alles erklärt sich vollständig, wenn wir annehmen, dass beide, der Magnetpol sowohl als die Spirale, in dem Wismuth gerade die entgegengesetzte Polarität hervorrufen, wie im Eisen, so dass also, wenn zum Beispiel in dem ursprünglichen Versuche die Richtung des Stromes durch beide Spiralen dieselbe ist, auch in den beiden einander zugekehrten Enden des Wismuth- und Eisencylinders dieselbe magnetische Polarität hervortritt.

14) Die Intensität des Magnetismus, welchen ein Eisenstab innerhalb einer Spirale annimmt, ist so gross, dass der Erfolg der eben beschriebenen Versuche zwar schwach, aber nicht zweifelhaft sein dürfte, wenn die Voraussetzung, die er bestätigen sollte, die richtige ist. Nehmen wir im ursprünglichen Versuche an, dass das zum Magnetpole gewordene Ende des Eisenstabes im benachbarten Ende des Wismuthstabes eine Polarität hervorrufe, die 10000 Mal geringer ist, als sie in einem zweiten gleichen Eisencylinder sein würde (ich nehme diese Zahl hier zu klein und sehe zugleich davon ab, dass durch die gegenseitige Induction der beiden Eisencylinder auch die Polarität des ersten verstärkt wird), so wird auch die abstossende Wirkung auf das Wismuth 10000 Mal kleiner sein als die anziehende auf das Eisen, und hier können wir, bei Anwendung einer feinen Waage, immer noch die Wirkung beobachten. Diese Abstossung nimmt aber offenbar in demselben Verhältnisse zu oder ab, als bei unverändert bleibendem

Magnetpole die Polarität des Wismuthstabes wächst oder abnimmt. Nehmen wir also an, dass die magnetische Induction des Wismuths durch die obere Spirale zu der Induction durch den Eisenstab hinzukomme, und sich die Stärke der Induction in beiden Fällen wie $\mu : \nu$ verhalte, so wird, wenn die Induction im Wismuthe gleichnamige Pole hervorruft, die Abstossung im Verhältnisse von $\nu : \mu + \nu$ wachsen. Bei entgegengesetzter Induction wird die ursprüngliche Abstossung nur so lange bestehen, als $\mu < \nu$, das heisst, so lange als die Induction durch die Spirale kleiner ist, als die Induction durch den Magnetpol, und, wenn dies nicht mehr der Fall ist, in Anziehung übergehen. Wenn das Verhältniss $\mu : \nu$ bei der diamagnetischen Induction des Wismuths nicht zu sehr von dem bei der magnetischen Induction des Eisens abweicht und demnach kein zu grosses oder zu kleines ist, so ist die Nothwendigkeit, dass die obigen Versuche gelingen mussten, einleuchtend.

Wenn wir in die beiden Spiralen zwei Wismuthcylinder bringen, so folgt theoretisch, dass, bei gleicher Stromrichtung, diese beiden Cylinder sich anziehen müssen und zwar in Folge davon, dass die benachbarten Enden entgegengesetzte Polarität erhalten, gerade so, wie es bei zwei eingesteckten Eisenstäben der Fall sein würde, nur dass Nordpol sich mit Südpol und Südpol sich mit Nordpol vertauscht. Bei entgegengesetzter Stromrichtung in den beiden Spiralen muss Abstossung stattfinden, weil dann die benachbarten Enden der beiden Wismuthstäbe gleichnamige Polarität erhalten. Wir können uns aber im Voraus sagen, dass in diesen beiden Fällen die Anziehung oder Abstossung der beiden Wismuthstäbe so gering sein muss, dass wir sie durch gewöhnliche Mittel niemals werden nachweisen können. Und ebenso ist augenfällig, dass überhaupt jeder Versuch, wie wir ihn auch anstellen mögen, die gegenseitige Einwirkung diamagnetisch erregter Wismuthstäbe nachzuweisen, vergeblich sein wird. Theoretische Betrachtungen warnen uns, solche Versuche nicht umsonst zu sehr zu vervielfältigen, und die negativen Resultate derselben nicht falsch zu deuten, indem wir sie als Beweise gegen die Gültigkeit der Theorie betrachten.

Die Anziehung der Wismuthcylinder in den beiden Spiralen ist offenbar dem Producte aus der magnetischen Erregung der beiden benachbarten Enden proportional, also wenn wir die angenommenen Zahlen beibehalten, $\frac{\nu}{\mu} \cdot \frac{\mu + \nu}{\mu}$ 10000 Mal kleiner, als die entsprechende Abstossung von Eisen und Wismuth. Da diese Abstossung schon so klein ist, so muss unserer Beobachtung die besprochene Anziehung der beiden inducirten Wismuthstäbe nothwendig entgehen.

Wenn diese letzte Anziehung als eine kleine Grösse der zweiten Ordnung bezeichnet werden muss, so ist die Abstossung, die diamagnetisch erregtes Wismuth auf nicht erregtes Wismuth ausübt, ein Kleines der dritten Ordnung, das nur eine theoretische, aber keine experimentale Bedeutung hat.

15) Durch Betrachtungen, von welchen später die Rede sein wird, war es mir wahrscheinlich geworden, dass Wismuth nicht nur in der Nähe eines Magnetpols polarisch werde, sondern auch seine Polarität, nachdem die Erregung aufgehört hat, noch eine Zeitlang behalte; mit anderen Worten, dass Wismuth einen Theil seines Magnetismus dauernd festhalte, wie Stahl im Gegensatze zu weichem Eisen einen Theil des durch Induction erhaltenen Magnetismus bewahrt. Meine Voraussetzung ist durch den Versuch bestätigt worden.

16) Ich hängte einen Wismuthstab, 15^{mm} lang und 5^{mm} dick, zwischen den Polspitzen des grossen Elektromagneten horizontal schwingend an einem doppelten Coconfaden auf (Fig. 18). Die Entfernung der Polspitzen war so viel vermindert, dass derselbe noch eben frei zwischen ihnen sich drehen konnte. Ein senkrechtes Glasstäbchen war etwas seitwärts von der die Polspitzen verbindenden geraden Linie in der Nähe derselben so angebracht, dass vor Erregung des Magnetismus durch den galvanischen Strom das Wismuthstäbchen in Folge der Torsion des Fadens von der Seite des Poles her an denselben sich anlehnte und durch ihn festgehalten wurde. Nach Erregung des Stromes durch drei Grove'sche Tröge lehnte sich das Wismuthstäbchen, verhindert die äquatoriale Lage anzunehmen, nur stärker gegen den Glasstab an; bei Unterbrechung des Stromes blieb das Stäbchen angelehnt und machte nur mit seinem freien Ende kleine Schwankungen um die Lage des Gleichgewichtes. Der Strom wurde von Neuem geschlossen und dann durch einen Gyrotrop umgekehrt. In Folge dieser Umkehrung ging das Wismuthstäbchen, von dem Glasstabe sich entfernend, nach der axialen Lage hin, kehrte aber bald wieder zurück, um sich von Neuem an den Glasstab anzulehnen, oder wurde, wenn es über die axiale Lage hinausgegangen war, ganz in die äquatoriale Lage herumgeworfen.

Fig. 18.

Wenn der Strom unterbrochen und dann langsam in entgegengesetzter Richtung wieder geschlossen wurde, so dass zwei bis drei Sekunden darüber verloren gingen, so zeigte sich die beobachtete Erscheinung nicht mehr.

17) Der mit einiger Sorgfalt anzustellende Versuch wurde mit demselben Erfolge auch bei Anwendung von 10 Trögen wiederholt.

Er beweist, dass das Wismuth Zeit gebraucht, um seine Pole umzukehren. Dasjenige Ende des Stäbchens, das in der Nähe des Nordpols des Elektromagneten selbst durch Induction zum Nordpol geworden war und also abgestossen wurde, behielt seinen Nordmagnetismus anfänglich auch dann noch, nachdem der Nordpol des Elektromagneten durch Umkehrung des Stromes in einen Südpol umgewandelt worden war: die Folge davon war die beobachtete Anziehung des Wismuthstabes. Der mächtige Südpol des Elektromagneten wandelte aber bald, fortwährend inducirend, den Nordmagnetismus des fraglichen Endes des Wismuthstabes in Südmagnetismus um, wovon die Folge wiederum Abstossung war. [1])

18) Wenn wir die in dem Vorstehenden erörterten älteren und neueren Versuche zusammenfassen, müssen wir zu der Ueberzeugung kommen, dass Diamagnetismus identisch dasselbe ist, wie der gewöhnliche Magnetismus. Wenn wir Eisen als den Repräsentanten der magnetischen Körper nehmen, müssen wir hierbei natürlich von dem enormen Unterschiede in der Stärke absehen. Wir mögen aber, damit auch dieser Unterschied wegfalle, das genannte Metall durch ein weniger stark magnetisches, etwa durch Platin ersetzen.

Ein Wismuthstäbchen, zwischen die Pole eines Magneten gebracht, wird daselbst zum wirklichen Magneten und unterscheidet sich von einem Platinstäbchen, das seine Stelle einnimmt, bloss dadurch, dass seine Pole die umgekehrten sind. Wir brauchen uns bloss das Wismuthstäbchen seiner Länge nach umgekehrt zu denken, ja wir mögen es wirklich umkehren: nach der Umkehrung erhalten wir dann im ersten Momente (16) zwei, von einander nicht mehr zu unterscheidende, gleiche Magnete. Wenn dieselben in demjenigen Zustande, in welchen sie zwischen den Magnetpolen versetzt wurden, auch fern von denselben dauernd verharrten, so könnten wir, wenn wir der Lage, die sie zwischen den Magnetpolen hatten, uns nicht mehr erinnerten, gar nicht mehr darüber entscheiden, ob Platin und Wismuth magnetische oder diamagnetische Substanzen seien. Das Wort diamagnetisch wäre also überflüssig, wenn wir nur den magnetischen Zustand verschiedener Körper an und für sich betrachteten.

19) Wismuth und Eisen nehmen auch beide ihren magnetischen Zustand unter denselben Bedingungen an, durch *Induction*, welche sowohl von einem Magnetpole, als auch von einem Leitungsdrahte, einer Spirale ausgehen kann. Diese Induction selbst aber äussert sich, wenn wir die hervortretende magnetische Polarität berücksichtigen, bei Wismuth und Eisen in gerade entgegengesetzter Weise. Wir müssen eine *diamagnetische Induction* und eine *magnetische Induction* von einander

unterscheiden: je nachdem der inducirte Körper ein *diamagnetischer* oder ein *magnetischer* ist, findet die erste oder die zweite statt. Bei der diamagnetischen Induction ruft ein Nordpol einen Nordpol, ein Südpol einen Südpol in dem näher liegenden Theile des inducirten Körpers hervor, während bei der magnetischen Induction ein Nordpol einen Südpol und ein Südpol einen Nordpol in seiner Nachbarschaft hervorruft.

Aus dieser Auffassungsweise erklärt sich die Abstossung der Masse des Wismuths durch die Pole eines Magneten so, wie die Anziehung der Masse des Eisens durch dieselben. Während hier der durch Induction hervorgerufene Pol immer der befreundete ist, ist es dort immer der feindliche.

Ebenso erklärt sich die äquatoriale Stellung, die ein Stab von Wismuth, im Gegensatze zur axialen Stellung eines Eisenstabes, zwischen den beiden Magnetpolen einnimmt. Für den einen, wie für den anderen Stab giebt es zwei Lagen des Gleichgewichts: die axiale und die äquatoriale. Während beide Stäbe sich drehen, ändert sich in ihnen fortwährend die magnetische Vertheilung: in der axialen Lage sind beide Stäbe Longitudinal-, in der äquatorialen beide Transversalmagnete. In beiden Lagen kehrt der Eisenstab die befreundeten Pole, der Wismuthstab die feindlichen Pole den Polen des Elektromagneten zu. Für den Eisenstab ist die axiale Lage, wo die Pole an den Enden desselben auftreten, die Lage des *stabilen*, die äquatoriale die Lage des *labilen* Gleichgewichtes. Für den Wismuthstab ist umgekehrt die äquatoriale Lage, wo die Pole nach der Länge des Stabes gewissermassen in zwei gerade Linien sich ausziehen, die Lage des *stabilen*, und die axiale die Lage des *labilen* Gleichgewichts.

20) Die in Rede stehende Induction ist diejenige, durch welche nach Ampère um die kleinsten Theilchen der Körper Elementarströme hervorgerufen werden, die, so lange die Erregung besteht, unverändert fortbestehen, oder welche, wenn wir die Ströme als schon vorhanden annehmen, denselben eine einzige oder wenigstens vorherrschende Richtung giebt, die sie ursprünglich nicht hatten. In magnetischen Körpern haben die inducirten Molecularströme dieselbe Richtung wie die Molecularströme in dem inducirenden Pole oder der Strom in der inducirenden Spirale; in diamagnetischen Körpern ist diese Richtung die umgekehrte.

(Ich unterdrücke hier die Zusammenstellung und Discussion der mannigfaltigen Beobachtungen, nach welchen bei gemengten Körpern

magnetisches und diamagnetisches Verhalten in einander übergeht: sie sind meistens in den Annalen mitgetheilt. [Vergl. Abhandl. 3, 6, 11 u. 15.] Aus ihnen habe ich das empirische und als solches unumstössliche Gesetz abgeleitet: *dass mit der Stärke der inducirenden Kraft der Diamagnetismus verhältnissmässig stärker zunimmt, als der Magnetismus.*")*)

26) Ich sehe den *Grund* dieses empirischen Gesetzes darin, dass der Hervorbringung des diamagnetischen Zustandes sich mehr Widerstand entgegengesetzt, als der Hervorrufung des magnetischen. Ich will diese Vorstellungsweise zunächst durch einen analogen Versuch zu veranschaulichen suchen und dann nachweisen, wie einer der von mir oben beschriebenen Versuche unserer Annahme einen neuen Stützpunkt giebt.

27) Ein verschiedener Widerstand, wie wir ihn bei magnetischen und diamagnetischen Körpern annehmen, besteht thatsächlich bei der Magnetisirung verschiedener Eisen- und Stahlsorten und da wird er Coërcitivkraft[2]) genannt. Es wird dies gewöhnlich nur daraus entnommen, dass eine dieser Sorten den Magnetismus in stärkerem Maasse und länger *behält*, als die andere. Aber wir können diese verschiedene Coërcitivkraft auch in der verschiedenen Stärke des in Folge der Induction *auftretenden* und *bald wieder verschwindenden Magnetismus* durch den Versuch nachweisen.

Man verbinde zu diesem Ende zwei gleich lange Stäbe von gehärtetem Stahl und weichem Eisen, von welchen der erste dicker ist als der zweite, in ihrer Mitte so mit einander, dass sie irgend einen bestimmten Winkel, etwa einen Winkel von 45°, mit einander bilden, und hänge sie dann horizontal schwingend auf (Fig. 19). Nähert man das System der beiden Stäbe aus grösserer Entfernung einem starken Magnetpole, so wird dasselbe anfänglich eine solche Lage annehmen, aus welcher das Uebergewicht der Anziehung des *Eisenstabes* hervorgeht, bei grösserer Nähe aber eine solche Lage, die Folge der grösseren Anziehung des *Stahlstabes* ist. Bei grösserer Entfernung nämlich stellt sich der Eisenstab, bei grösserer Nähe der Stahlstab axial, das heisst dem Pole zu gerichtet. Statt das System der beiden Stäbe dem Mag-

Stahl P Eisen

Fig. 19.

*) Herr Müller in Freiburg hat in einem der letzten Bände [83, S. 115] der Annalen eine Erklärungsweise gegeben, die mit der meinigen im Einklange ist, wenn wir annehmen, dass ein bereits mehr oder weniger mit Magnetismus gesättigtes Eisen nicht mehr in gleichem Maasse neuen Magnetismus aufnimmt, was wir auch so ausdrücken können, dass mit der allmäligen Sättigung die Coërcitivkraft[2]) zunimmt.

netpole zu nähern, können wir auch, indem wir eine schickliche Entfernung bestimmen und festhalten, einen schwächeren Pol mit einem stärkeren vertauschen und erhalten dann die entsprechende Wirkung. Der Stahl wird in diesem Versuche, in Gemässheit seiner grösseren Coërcitivkraft, schwerer magnetisch als weiches Eisen. Wenn wir voraussetzen, dass die diamagnetische Kohle schwerer Magnetismus annimmt, als die durch ihre Masse hindurch gleichmässig vertheilten, ihr beigemengten Eisentheilchen, so muss, bei gehörigem Mengungsverhältnisse, ein Stäbchen solcher Kohle je nach der grösseren oder kleineren Entfernung von den Polen oder je nach geringerer oder grösserer Intensität der magnetischen Kraft sich einmal magnetisch, das andere Mal diamagnetisch verhalten, einmal angezogen, das andere Mal abgestossen werden. So zeigt es der Versuch. Ob unsere Voraussetzung Ausnahmen erleide, müssen spätere Versuche zeigen.

28) Der vorstehenden Erklärungsweise wäre nichts hinzuzufügen, wenn man nicht in Folge derselben die Frage aufwerfen könnte, ob Wismuth, wenn es bei seiner starken Coërcitivkraft durch einen kräftigen Magneten einmal diamagnetisch ist, auch unabhängig und fern von dem Magneten seine Polarität beibehielte. Hierüber lag bisher nichts vor: aber der Versuch der 16. Nummer, der in dieser Absicht angestellt worden war, beweist es.[1])

Ob ein Stück Wismuth oder ein anderer diamagnetischer Körper mit noch stärkerer Coërcitivkraft auch längere Zeit als *permanenter Diamagnet* sich verhalte, ist der zu geringen Kraft wegen wahrscheinlich nicht nachweisbar. Denn offenbar behält auch gehärteter Stahl von derjenigen magnetischen Erregung, die in der Nähe eines mächtigen Poles stattfindet, nur einen kleinen Theil. Hier genügt es, auf experimentalem Wege nachgewiesen zu haben, dass Wismuth, fern von jeder diamagnetischen Induction, ja sogar gegen dieselbe, seinen Diamagnetismus in deutlich nachweisbarer Art für eine kurze Zeit behält.*)

Zweiter Theil.

(Ich unterdrücke hier die Aufzählung der bekannten Thatsachen über das magnetische Verhalten der Krystalle. Im Vorstehenden halte ich mich wörtlich an die mehr mathematische Behandlung.)

3) Diese Thatsachen sind vollkommen bestimmt. Die Wirkung des Magneten auf Krystalle wird durch eine Ursache, welche in der Krystallisation liegt, modificirt, sogar umgekehrt. Aus den beschriebenen Versuchen und vielen ähnlichen ergiebt sich das folgende Gesetz.

---

*) Die gleiche Nachweisung ist mir beim Phosphor nicht gelungen.

Die optische Axe der einaxigen Krystalle wird, je nachdem sie positiver oder negativer Art ist, von den Polen eines Magneten angezogen oder abgestossen.

Hiernach scheint erwiesen, dass *dieselbe erste Ursache*, welche die Modificirung des Lichtes in dem Inneren eines Krystalls hervorbringt, ebenfalls die Einwirkung des Magneten auf denselben modificirt.

Die einzige Richtung, nach welcher keine doppelte Brechung stattfindet, welche je nach der positiven oder negativen Natur des Krystalls den ausserordentlichen Strahl anzieht oder abstösst: dieselbe Richtung wird unter derselben Voraussetzung von den Polen des Magneten angezogen oder abgestossen.

4) Die Anziehung oder Abstossung einer Richtung im Innern eines Körpers, die als unabhängig von der Anziehung oder Abstossung der Masse sich darstellt, ist ein isolirt stehendes Factum, ein paradoxes Factum, welches auf den ersten Blick mit den allgemeinen Gesetzen der Mechanik unvereinbar scheint.

Um die Natur und die Bedingungen der beschriebenen Phänomene besser zu würdigen, wollen wir das Turmalinprisma näher ins Auge fassen. Dieses Prisma wird anfänglich von den beiden Polen des Magneten angezogen, dann aber, wenn man die beiden Pole von einander entfernt, abgestossen; es verlässt die axiale Lage, um sich senkrecht gegen diese Linie zu stellen, wie es ein Körper thun würde, dessen kleinste Theile die Pole fliehen. Man wird natürlich darauf hingeführt, hier einen Kampf zweier entgegengesetzter Kräfte anzunehmen, von welchen die eine, auf die Masse des Turmalins wie auf irgend eine nicht krystallisirte magnetische Masse wirkend, das Prisma in die axiale Lage zu treiben strebt, während die andere, die von der Krystallisation abhängig ist, dasselbe in die äquatoriale Lage zurückdrängt.*) Dann ist man überdies gezwungen, anzunehmen, dass bei wachsender Entfernung der beiden Pole von einander die erste der beiden Kräfte schneller abnimmt, als die zweite. Dies war meine Art, die Sache aufzufassen, als ich im Jahre 1847, als Ausdruck für die Erscheinung, das folgende empirische Gesetz gab:

Diejenige Kraft, welche die Abstossung (oder Anziehung) der optischen Axe des Krystalls hervorbringt, nimmt mit der Entfernung langsamer ab, als die von denselben Polen ausgehende magnetische Anziehung oder diamagnetische Abstossung der Masse des Krystalls.

5) An ein und demselben Tage beobachtete ich zuerst sowohl das

*) Es ist hiermit keineswegs ausgesprochen, dass die beiden Kräfte von einander unabhängig seien.

merkwürdige Verhalten eines Kohlencylinders als auch das Verhalten des Turmalins zwischen den Polspitzen des grossen Elektromagneten. Anfänglich dachte ich, das Verhalten der Kohle sei durch ihre Structur bedingt, und wurde dadurch veranlasst, eine Turmalinplatte, deren Structurverschiedenheit von der Krystallisation abhängt, in gleicher Weise zwischen den Polspitzen aufzuhängen. Erst nachdem ich alle Krystalle, die mir zu Gebote standen und die schickliche Form hatten, untersucht hatte, wandte ich mich zur Kohle zurück, fand die Erklärung in der Beimischung magnetischer Substanzen und dem empirischen Gesetz, dass die diamagnetische Erregung mit der Entfernung von dem inducirenden Pole langsamer abnimmt, als die magnetische. Die Auffassungsweise der vorigen Nummer erschien eine Zeit lang durch diese neue Analogie einen Stützpunkt zu finden.

6) In Folge neuer Versuche ist diese Analogie vollständig verschwunden. Welches auch die Intensität des im Elektromagneten hervorgerufenen Magnetismus sein mag: die Turmalinsäule wirft sich immer, nahe bei derselben Entfernung der Polspitzen, von der einen Lage in die andere herum. Ganz anders aber verhält es sich bei der Kohle. Hier hängt der Moment, wo die Lagenänderung eintritt, von der inducirenden Kraft des Magneten ab. Hier ordnet sich also das Gesetz der Entfernung einem allgemeineren Gesetze unter: als empirisches Gesetz bleibt es wahr, erhält aber eine andere Deutung. Die Entfernung als solche kommt nur insoweit in Betracht, als auch von ihr die Intensität der Inductionswirkung abhängig ist. So wurde ich zur Annahme der Ansicht geführt, dass Magnetismus und Diamagnetismus ganz dieselben Kraftäusserungen seien, und dass nur der Widerstand, welcher sich ihnen entgegenstellt, für die verschiedenen magnetischen und diamagnetischen Körper ein verschiedener sei.

7) Die eigenthümliche Wirkung des Elektromagneten auf Krystalle stand aber hiernach isolirt da. Wäre diese Wirkung, wäre die Abstossung der Turmalinsäule, um an dem einzelnen Beispiele festzuhalten, bloss scheinbar? Wirklich wird eine solche Säule, nachdem sie sich äquatorial, das heisst senkrecht auf die Linie der Pole, gestellt hat, nichts desto weniger fortwährend angezogen. Denn wenn man einen der beiden Magnetpole unterdrückt, so nähert sie sich dem anderen Pole, indem sie fortwährend ihre Richtung beibehält. Es findet also, namentlich bei grösserer Annäherung an diesen Pol, zugleich *Anziehung der Masse und Abstossung einer Richtung* statt.

8) Die Idee, welche sich zuerst darbietet, ist, anzunehmen, dass die magnetische Induction, welche der Turmalin zwischen den beiden Polen erleidet, nach verschiedenen Richtungen verschieden sei. Indem

wir sie nach der Richtung der Axe am kleinsten nehmen, können wir leicht die verschiedenen Stellungen, welche eine Turmalinsäule zwischen den Magnetpolen annimmt, im Allgemeinen erklären.

9) Aber der Versuch widerspricht dieser Voraussetzung. Es würde hieraus nämlich folgen, dass etwa ein aus einem solchen Krystalle geschnittener Würfel nicht gleich stark angezogen würde, wenn man ihn nach einander mit den drei Paaren gegenüberliegender Seitenflächen auf die genäherten Pole des Elektromagneten setzte. Die Wirkung müsste, wenn insbesondere die aufstehenden Flächen senkrecht gegen die Axe wären, am geringsten sein, am grössten, wenn sie der Axe parallel wären. Durch genaue Abwägungen habe ich gefunden, dass dies nicht stattfindet, oder vielmehr, dass der Unterschied in der Anziehung so *gering ist,* dass er nicht die Ursache der Lagenänderung des Krystalls sein kann.*)

10) Wenn wir die Turmalinsäule, ihrer Länge nach, in zwei gleiche Theile getheilt denken, so entfernt sich bei gehörigem Abstande der Pole der Schwerpunkt jeder Hälfte von diesen Polen. Dasselbe findet für den ganzen Turmalin statt, wenn man ihn so aufhängt, dass er in einer Horizontalebene um einen Punkt, der in der Verlängerung seiner Axe liegt, frei schwingen kann.

11) Nach diesen, auf mannigfaltigen Versuchen gegründeten Beobachtungen habe ich die obige Idee (8) verworfen oder wenigstens als eine ganz unbestimmte betrachten müssen, die vor Allem einer näheren Erklärung bedarf, und so bin ich endlich zu der Ueberzeugung gekommen, dass es sich zuletzt nur darum handele, durch die allgemeinen Sätze der Mechanik zu erklären, wie überhaupt in einem frei aufgehängten Krystalle eine Richtung *abgestossen* werden kann durch die *magnetische* Wirkung der Pole des Elektromagneten, und andererseits eine Richtung *angezogen* durch die *diamagnetische* Wirkung dieser Pole; dass dies endlich darauf hinauskomme, *durch Rechnung zu zeigen und durch den Versuch zu bestätigen, dass unter gewissen Bedingungen ein Stück weichen Eisens von den Magnetpolen abgestossen, ein Stück unkrystallisirten Wismuths angezogen werde.***)

*) Ich bin nun überzeugt, dass diese Behauptung unrichtig ist. Sie beruhte auf Versuchen, die unter nicht ganz günstigen Verhältnissen angestellt worden sind, und zwar mit einem Würfel von Eisenvitriol, der unmittelbar auf den genäherten Ankern aufstand. Sie sind beiläufig in den Annalen [Bd. 81; Werke II, S. 189] mitgetheilt. Solche Versuche hat später Herr Tyndall mit grosser Sorgfalt wieder aufgenommen und meine Behauptung berichtigt [Pogg. Ann. Bd. 83, S. 402].

**) Das Folgende ist wörtlich aus der ursprünglichen Redaction entlehnt:

„42) Um unsere Ansicht, dass ein krystallisirter Körper nach einer Richtung leichter als nach der anderen magnetische Polarität annehme, zu veranschau-

Bei dieser Auffassungsweise bot sich sogleich eine Analogie in einer Magnetnadel dar, welche durch den näher liegenden Magnetpol

---

lichen, bietet sich der nahe liegende Gedanke dar, uns dünner Eisenstäbchen zu bedienen, die leicht an ihren Enden, schwer an ihren Seiten magnetische Polarität annehmen, und solche Stäbe, der jedesmaligen Absicht gemäss, in bestimmter Weise zu verbinden und dann der Wirkung eines Magneten auszusetzen. In dem Nachstehenden führe ich einige derjenigen Versuche an, die, um die Erscheinungen bei Krystallen zu erklären und theilweise nachzuahmen, auf diese Weise angestellt worden sind.

43a) Ich verband zwei Stäbe von weichem Eisen mit zwei Stäben von Messing zu einem Rechtecke (Fig. 20). Die Stäbe waren etwa 3mm dick, und die Messingstäbe etwas länger als die Eisenstäbe. Das Rechteck wurde so an Seidenfäden zwischen den Polspitzen aufgehängt, dass es horizontal frei schwingen konnte, und die Entfernung der Pole so gross genommen, dass nicht das ganze Rechteck nach einem der Pole hinsprang. Die Eisenstäbe wurden mit grosser Kraft *von den Polen fortgestossen* und stellten sich möglichst fern von denselben parallel mit der die Pole verbindenden geraden Linie.

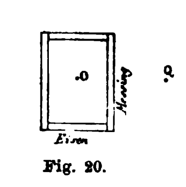


Fig. 20.

Die Stellung, die das Rechteck annahm, blieb auch dann die frühere, wenn man nur einen Pol wirken liess oder einen der beiden Eisenstäbe durch einen dritten Messingstab ersetzte.

b) Ich durchbohrte einen runden Messingstab, der etwa 50mm lang und 5mm bis 6mm dick war, senkrecht gegen seine Längenrichtung so, dass die Durchbohrungen, deren Anzahl 16 betrug, sehr fein waren, gleichen Abstand von einander hatten und alle in einer und derselben durch die Axe gehenden Ebene lagen. In dieselben steckte ich dünne Eisendrähte, deren hervorragende Enden abgefeilt wurden. Zwischen den Polen so aufgehängt, dass die Ebene der Durchbohrungen horizontal schwingen konnte, wurde der Stab mit Entschiedenheit abgestossen und in die äquatoriale Lage getrieben. War die Ebene der Durchbohrungen senkrecht, so wurde er angezogen und ging in die axiale Lage.

c) Waren die Eisendrahtstücke durch den Messingdraht alle unter einem gegebenen Winkel mit der Axe in derselben Horizontalebene eingesteckt, so stellte er sich schief und zwar so, dass die Eisenstäbchen parallel mit der von Pol zu Pol gehenden Linie gerichtet waren. War die Ebene der Eisenstäbchen vertical, so stellte sich der Stab axial.

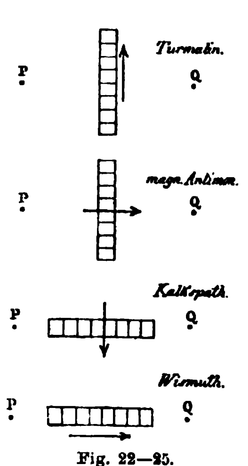


Fig. 22—25.

d) Eine Spirale von Eisen- oder Stahldraht, zwischen den beiden Polen aufgehängt (Fig. 21), geht mit grosser Kraft in die äquatoriale Lage: ihre beiden Hälften werden von den Polen abgestossen."

P Q
Fig. 21.

Eben daher entlehne ich, ohne weitere Bemerkungen hinzuzufügen, die Fig. 22—25, welche das Verhalten des Turmalins, des magnetischen Antimons, des Kalkspaths und des Wismuths zwischen den Magnetpolen anschaulich machen

der Erde gerichtet wird, ohne dass dabei ihr Schwerpunkt eine irgend merkliche Einwirkung erfährt. Wenn eine solche Magnetnadel in ihrer Mitte an einem Hebelarm befestigt wird, welcher so aufgehängt ist, dass das Ganze in einer Horizontalebene frei sich drehen kann, so bewegt sie sich in den magnetischen Meridian, und muss, um dahin zu gelangen, je nach ihrer ursprünglichen Lage, dem Pole der Erde sich nähern oder von demselben sich entfernen.

12) Wenn wir uns hiernach vorstellen, dass die Turmalinsäule aus einer unendlichen Anzahl kleiner Magnete bestehe, deren magnetische Axen alle senkrecht stehen auf der Axe des Krystalls, so treibt der Pol des Elektromagneten, der den Pol der Erde im vorigen Versuche vertritt, die Turmalinsäule in die äquatoriale Lage.

13) Aber aus der Voraussetzung, die wir eben gemacht haben, würde auch folgen, dass dasselbe Ende der Turmalinsäule sich immer nach derselben Seite der axialen Linie stellen würde. In einzelnen Krystallen beobachtet man wirklich, wenn die Kraft des Magneten nicht zu gross ist, diese Wirkung; für den Turmalin und die meisten der übrigen Krystalle aber findet sie nicht statt. Demnach wollen wir die kleinen permanenten Magnete durch solche uns ersetzt denken, welche beim Durchgange durch die äquatoriale Lage ihre Polarität wechseln, also durch Stäbchen, welche, wie wenn sie von weichem Eisen wären, zwischen den Polen des Magneten durch Induction magnetisch werden, ohne dass der an ihren Enden auftretende Magnetismus durch eine Coërcitivkraft festgehalten würde.

14) Wir wollen nun der Rechnung diejenigen Resultate unterwerfen, welche wir eben aus allgemeinen Betrachtungen abgeleitet haben. Die Ebene der Figur sei die durch die beiden Pole des Elektromagneten, P und Q, gehende Horizontalebene (Fig. 26). Es sei AB ein Stäbchen weichen Eisens, das mit seiner Mitte an einem Hebel CC' befestigt ist, welcher frei um den Punkt O sich drehen kann. In der Voraussetzung, dass P der Nordpol und Q der Südpol des Magneten sei, erhält das Stäbchen weichen Eisens seinen Südpol in A und seinen Nordpol in B. Wir wollen das Drehungs-

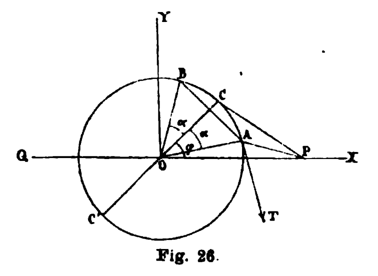


Fig. 26.

sollen. Die Richtung der optischen Axe ist durch einen Pfeil bezeichnet, die Richtungen, nach welcher die Polarität auftritt, durch kleinere Striche. In der Nachahmung der beiden ersten Krystalle stellen diese Striche Eisenstäbchen dar, die in einer indifferenten Masse stecken, bei den beiden letzten Krystallen Stäbchen aus einer stark diamagnetischen Substanz. Die Ansichten sind von oben genommen.

moment des Punktes A, soweit es von der Anziehung des Poles P herrührt, zunächst berechnen.

Es sei r der Radius des Kreises, welchen die Punkte A und B während der Umdrehung des Hebels beschreiben, c die Entfernung des Poles P vom Umdrehungs-Mittelpunkte O, φ der Winkel, welchen der Hebel CC' mit derjenigen Linie bildet, die den Pol P mit O verbindet, und endlich α der zwischen dem Hebel CC' und der Linie OA enthaltene Winkel. Demnach ist:

$$OA = OB = r, \qquad OP = c,$$
$$COP = \varphi, \qquad COA = COB = \alpha.$$

Wir wollen die Punkte A und P durch eine gerade Linie AP verbinden, die Länge dieser Linie sei δ. Wir erhalten alsdann für die Anziehung von P auf A den Ausdruck

$$\frac{\mu}{\delta^2},$$

wobei μ die Grösse dieser Anziehung für die Einheit der Entfernung bedeutet.[3]) Wenn wir diese nach AP gerichtete Kraft nach der Linie AT, welche den Kreis im Punkte A berührt, zerlegen und mit dem Radius r multipliciren, so finden wir

$$\frac{r\mu}{\delta^2}\cos TAP$$

für das gesuchte Drehungsmoment. Dieser Ausdruck verwandelt sich, wenn wir berücksichtigen, dass

$$\delta^2 = r^2 + c^2 - 2rc\cos(\varphi - \alpha),$$
$$\cos TAP = \sin PAO = \frac{c\sin(\varphi - \alpha)}{\delta},$$

sogleich in den folgenden

$$(1) \qquad \frac{c\mu r\sin(\varphi - \alpha)}{\{r^2 + c^2 - 2rc\cos(\varphi - \alpha)\}^{\frac{3}{2}}}.$$

Um das in gleichem Sinne genommene Drehungsmoment, welches durch die Abstossung, die von demselben Pole P aus auf das andere Ende des Eisenstäbchens AB wirkt, hervorgebracht wird, zu erhalten, brauchen in dem vorstehenden Ausdrucke (1) bloss die Zeichen von μ und α zu ändern. Dieses giebt

$$(2) \qquad \frac{-c\mu r\sin(\varphi + \alpha)}{\{r^2 + c^2 - 2rc\cos(\varphi + \alpha)\}^{\frac{3}{2}}}.$$

Wir erhalten hiernach, indem wir die beiden Ausdrücke (1) und (2) addiren,

$$(3) \quad c\mu r\left\{\frac{\sin(\varphi - \alpha)}{\{r^2 + c^2 - 2rc\cos(\varphi - \alpha)\}^{\frac{3}{2}}} - \frac{\sin(\varphi + \alpha)}{\{r^2 + c^2 - 2rc\cos(\varphi + \alpha)\}^{\frac{3}{2}}}\right\}$$

für das ganze Drehungsmoment, insoweit es von dem Pole P herrührt. Das Zeichen des Werthes dieses Ausdrucks bestimmt den Sinn der Drehung. Das Eisenstäbchen nähert sich dem Pole P, wenn dieses Zeichen positiv ist, und entfernt sich von demselben, wenn das Zeichen negativ ist.

15) Um das immer in demselben Sinn genommene Drehungsmoment, welches durch die Wirkung des anderen Poles Q auf das Eisenstäbchen hervorgebracht wird, auszudrücken, wollen wir annehmen, dass dieser Pol auf der anderen Seite des Mittelpunktes O in einer Entfernung von demselben, welche gleich c' ist, liege, und brauchen dann nur in dem letzten Ausdrucke (3) c' und $(\pi - \varphi)$ an die Stelle von c und φ zu setzen und gleichzeitig das Zeichen von μ zu ändern. Auf diese Weise kommt

$$(4)\quad c'\mu r\left\{\frac{\sin(\varphi-\alpha)}{\{r^2+c'^2+2rc'\cos(\varphi-\alpha)\}^{\frac{3}{2}}}-\frac{\sin(\varphi+\alpha)}{\{r^2+c'^2+2rc'\cos(\varphi+\alpha)\}^{\frac{3}{2}}}\right\}.$$

16) In dem Falle eines permanenten Magnetstäbchens, das der Einwirkung der Erde unterworfen ist und seinen Südpol in A hat, müssen wir c und c' in Beziehung auf r unendlich gross annehmen. Demnach gehen die beiden Ausdrücke (3) und (4) in die folgenden über:

$$\frac{\mu r}{c^2}\{\sin(\varphi-\alpha)-\sin(\varphi+\alpha)\} = -\frac{2\mu r}{c'^2}\sin\alpha\cos\varphi,$$

$$\frac{\mu r}{c'^2}\{\sin(\varphi-\alpha)-\sin(\varphi+\alpha)\} = -\frac{2\mu r}{c^2}\sin\alpha\cos\varphi.$$

Die magnetischen Kräfte, die von den beiden Polen der Erde ausgehen, treiben also übereinstimmend die Nadel in den magnetischen Meridian, mit einer relativen Kraft, die sich umgekehrt verhält, wie das Quadrat des Abstandes von den Polen. Das Magnetstäbchen flieht also in dem Falle der Figur den seiner Nähe wegen mächtigeren Pol P. Das ganze Drehungsmoment ist, wenn wir überdies noch die Länge der Nadel $2r\sin\alpha$ durch l bezeichnen,

$$-\mu\left(\frac{1}{c^2}+\frac{1}{c'^2}\right)l\cos\varphi.$$

Es nimmt also wie $\cos\varphi$ ab, verschwindet, wenn die Nadel in den magnetischen Meridian tritt, und ist überhaupt für verschiedene Nadeln den Längen derselben proportional.*)

*) Die obigen Formeln dürfen wir auf die Erde nur dann übertragen, wenn wir voraussetzen, dass der Magnetismus in ihr regelmässig vertheilt sei, und überdies noch, dass wir uns auf dem Aequator befinden. μ bedeutet alsdann die von jedem Pole ausgehende, auf die Horizontalebene projicirte Kraft.[4]) Das aus der letzten Formel gezogene Resultat behält aber auch dann, wenn die Nadel unter

17) Für den Fall eines weichen Eisenstabes, der unter dem Einflusse der beiden Pole P und Q magnetisch wird, sind unsere Formeln dann nicht mehr anwendbar, wenn eines der beiden Enden desselben, A und B, auf die andere Seite der axialen Linie PQ tritt.[5]) Wenn beide Enden auf die andere Seite hinübertreten, erhalten sie ihre Geltung wieder; wir müssen dann das Zeichen von μ ändern. In dem Folgenden wird uns derjenige Fall allein beschäftigen, wo die Länge des Stäbchens in Beziehung auf die Länge des Hebelarmes und in Beziehung auf die Entfernung der Pole von einander vernachlässigt werden darf. Hier haben unsere Formeln allgemeine Gültigkeit, vorausgesetzt nur, dass wir das Zeichen von μ ändern, wenn das Eisenstäbchen die axiale Linie PQ überschreitet.

18) Weil die Ausdrücke (3) und (4) bloss ihr Zeichen ändern, wenn das Zeichen von α geändert wird, müssen aus der Entwickelung derselben die geraden Potenzen von α verschwinden. Indem wir also die ersten Potenzen von α allein beibehalten, vernachlässigen wir bloss die dritten und höheren. Wir erhalten hierbei

$$\sin(\varphi \mp \alpha) = \sin\varphi \mp \alpha\cos\varphi,$$
$$\cos(\varphi \mp \alpha) = \cos\varphi \pm \alpha\sin\varphi,$$

und wenn wir, der Kürze wegen,

$$r^2 + c^2 - 2rc\cos\varphi = \overline{CP}^2 = m^2 \tag{5}$$

setzen und entwickeln:

$$\left\{r^2 + c^2 - 2rc\cos(\varphi \mp \alpha)\right\}^{-\frac{3}{2}} = (m^2 \mp 2\alpha cr\sin\varphi)^{-\frac{3}{2}}$$
$$= m^{-3} \pm 3\alpha cr\sin\varphi\cdot m^{-5}.$$

Der Ausdruck (3) geht, wenn wir diese Werthe substituiren, in den folgenden über:

$$\frac{2\alpha c\mu r}{m^3}\left\{\frac{3cr}{m^2}\sin^2\varphi - \cos\varphi\right\},$$

und kann auch unter der nachfolgenden Form geschrieben werden:

$$-\frac{2\alpha\mu c^2 r^2}{m^5}\left\{\cos^2\varphi + \left(\frac{r}{c} + \frac{c}{r}\right)\cos\varphi - 3\right\}. \tag{6}$$

Dieser Ausdruck giebt also das Drehungsmoment, das die Wirkung des Poles P auf die kleine Nadel von weichem Eisen hervorbringt. Das dem Pol Q entsprechende Drehungsmoment ist:

$$\frac{2\alpha\mu c'^2 r^2}{m'^5}\left\{\cos^2\varphi - \left(\frac{r}{c'} + \frac{c'}{r}\right)\cos\varphi - 3\right\}, \tag{7}$$

wobei wir der Kürze wegen

---

irgend einem Breitengrade aufgehängt ist, seine Geltung. Nur der Coëfficient von $l\cos\varphi$ ändert sich.

$$r^2 + c'^2 + 2rc' \cos\varphi = m'^2$$

gesetzt haben. Man erhält diesen Ausdruck sogleich aus dem vorhergehenden, wenn man, wie in der 15. Nummer, c mit c' vertauscht und zugleich das Zeichen von μ und $\cos\varphi$ ändert.

19) Wenn man den Hebel CC' in der Horizontalebene um den Punkt O dreht, so ändern sich mit dem Winkel φ die Momente (6) und (7). Diese ändern sich ebenfalls mit r, das heisst dann, wenn das kleine Eisenstäbchen, während es immerwährend auf dem Hebelarme senkrecht bleibt, in verschiedene Entfernungen von dem Umdrehungsmittelpunkte O tritt. Wenn wir r und φ als veränderliche Grössen betrachten, wodurch sie die Bedeutung von Polarcoordinaten erhalten, kann man das Drehungsmoment für alle Punkte einer geraden Linie berechnen, welche aus lauter unendlich kleinen Magnetnadeln besteht, die alle senkrecht auf ihrer Länge sind und mit ihr um den festen Punkt O sich drehen. Um diejenigen Punkte der Horizontalebene zu bestimmen, für welche das Drehungsmoment, das von jedem einzelnen der beiden Pole P und Q herrührt, verschwindet, erhält man hiernach auf der Stelle die folgenden beiden Gleichungen in Polarcoordinaten:

$$\cos^2\varphi + \left(\frac{r}{c} + \frac{c}{r}\right)\cos\varphi - 3 = 0, \tag{8}$$

$$\cos^2\varphi - \left(\frac{r}{c'} + \frac{c'}{r}\right)\cos\varphi - 3 = 0. \tag{9}$$

Die beiden durch diese Gleichungen dargestellten Curven sind ähnliche, erstrecken sich aber vom Punkte O aus nach entgegengesetzter Richtung, die erste nach dem Pole P, die zweite nach dem Pole Q. Wenn der Punkt O in der Mitte zwischen P und Q angenommen wird, so sind die beiden Curven einander gleich.

20) Da die Gleichungen (8) und (9) von μ unabhängig sind, so bleiben die beiden fraglichen Curven, geometrische Oerter der indifferenten Punkte, unverändert dieselben, wie klein und gross auch die magnetische Intensität der Pole P und Q seien, und wie sich auch die durch die inducirende Kraft dieser Pole in dem Eisenstäbchen hervorgerufene Polarität, während dasselbe um den Punkt O herumgeht, der Intensität nach ändern mag.

21) Statt der Polarcoordinaten r und φ wollen wir rechtwinklige Parallelcoordinaten x und y einführen, indem wir O zum Anfangspunkte nehmen und die Axe der x durch die beiden Pole P und Q legen. Alsdann ist

$$\cos\varphi = \frac{x}{r}, \quad r^2 = x^2 + y^2,$$

wonach der erste Theil der Gleichung (8) in den folgenden Ausdruck übergeht:

$$\frac{1}{cr^3}\{(x-3c)y^2+x(x-c)^2\}. \tag{10}$$

Die dem Pole P entsprechende Curve der indifferenten Punkte hat also die Gleichung

$$y^2 = -\frac{x(x-c)^2}{x-3c}. \tag{11}$$

Man braucht bloss den Werth von c und das Zeichen von x zu ändern, um aus der vorstehenden Gleichung die Gleichung der dem Pole Q entsprechenden Curve zu erhalten. Die Gleichung (11) zeigt uns unmittelbar, dass die durch sie dargestellte Curve (Fig. 27), welche der geometrische Ort derjenigen indifferenten Punkte ist, die man erhält, wenn man bloss die Wirkung des Poles P betrachtet, sich vom Mittelpunkte O aus nur nach der Seite dieses Poles erstreckt; dass sie symmetrisch ist in Beziehung auf die gerade Linie, welche die beiden Pole P und Q verbindet, dass sie den Pol P zum Doppelpunkte hat und zur Asymptote eine gerade Linie AA, welche senkrecht auf PQ ist und von dem Mittelpunkte O dreimal so weit absteht, als der Pol P. Die Figur zeigt den Lauf der Curve $TPOPU$ an.

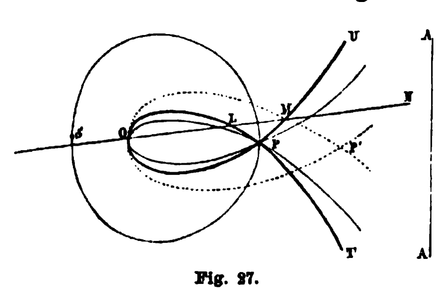


Fig. 27.

Wenn wir dem kleinen Eisenstäbchen verschiedene Lagen geben, sei es, dass wir den Hebel drehen, oder dass wir denselben als fest betrachten und das Stäbchen auf demselben parallel mit sich selbst verschieben, ändert, so oft dabei die Curve überschritten wird, das Drehungsmoment sein Zeichen; wenn das Eisenstäbchen vorher angezogen wurde, so wird es nachher abgestossen und umgekehrt.

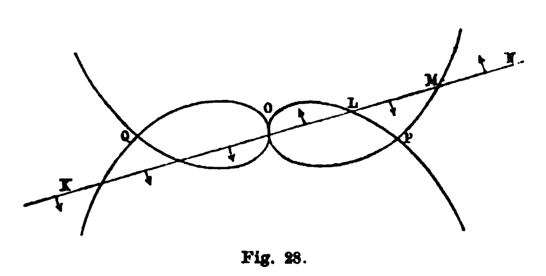


Fig. 28.

Wir überzeugen uns leicht, dass im Innern des Ovales der Curve das Drehungsmoment negativ ist und demnach der Pol P das Eisenstäbchen daselbst abstösst. Denken wir uns also einen Hebel KN (Fig. 28) von unbestimmter Länge und aus einer unendlich grossen Menge unendlich kleiner Nadeln bestehend, die alle auf seiner Längenrichtung senkrecht stehen, so ist

klar, dass alle diejenigen dieser Nadeln, welche zwischen O und L, und diejenigen, welche über M hinausliegen, durch den Pol P *abgestossen* werden, während alle diejenigen, welche zwischen L und M und über den Punkt O hinaus nach der entgegengesetzten Seite hin liegen, von demselben Pole *angezogen* werden. Die Art der Wirkung ist in der Figur durch kleine Pfeile bezeichnet.

Die Art der Wirkung des zweiten Poles auf die verschiedenen kleinen Nadeln wird in ganz analoger Weise durch die zweite Curve bestimmt, welche wir in der Figur unter der Voraussetzung, dass $c' = c$, das heisst, dass für den Umdrehungspunkt O die Mitte zwischen P und Q genommen werde, der ersten beigesellt haben.

22) Wir wollen zuvörderst nur die eine Hälfte des Hebels, ON, in irgend einer ihrer Lagen betrachten. Dann giebt es zwei Kräfte, welche vom Pole P ausgehen und auf die Segmente OL und MN wirken, sowie eine dritte Kraft, welche vom Pole Q ausgeht und auf die ganze Länge ON wirkt: alle drei Kräfte treiben den Hebelarm in die äquatoriale Lage. Nur eine Kraft, welche von P ausgeht und auf das Segment LM wirkt, sucht den Hebelarm in die axiale Lage zurückzuziehen.

Wenn wir die andere Hälfte des Hebels betrachten, ergeben sich Kräfte, die ein resultirendes Drehungsmoment hervorbringen, welches dem Drehungsmomente des ersten Hebelarmes gleich ist und in demselben Sinne wirkt.

Jede der beiden Hälften des Hebels für sich genommen muss sich also unter der Einwirkung beider Pole gerade so bewegen wie der ganze Hebel.

Wenn der Pol P sich vom Mittelpunkte der Aufhängung entfernt, so nehmen die Dimensionen des Ovales OLP zu (Fig. 27). Der innerhalb des Ovales liegende Theil des Hebelarmes, dessen Punkte abgestossen werden, wird grösser, während der durch diesen Pol angezogene Theil weiter vom Mittelpunkte sich entfernt.

Um einen bestimmten Fall vor Augen zu haben, wollen wir annehmen, dass M das Ende des Hebelarmes sei. Dann sind zwei Kräfte thätig, die sich bekämpfen, indem die eine derselben den Hebelarm in die axiale Lage, die andere in die äquatoriale Lage zu drehen strebt. (Wir sehen hierbei von der Wirkung des entfernteren Poles Q, welcher den Hebelarm seiner ganzen Länge nach in die äquatoriale Lage zieht, ganz ab.) Wenn der Pol P vom Punkte O in dem Verhältnisse von OL zu OM sich entfernt, so geht das ursprüngliche Oval in ein solches, (das punktirte in der Figur 27), über, das durch das Ende M des Hebel-

armes und durch den Punkt P', der die neue Lage des Poles bezeichnet, geht und demnach die ganze Länge des Hebelarmes umschliesst. Dann giebt es keinen einzigen Punkt des Hebelarmes mehr, der nicht in die äquatoriale Lage getrieben wird.

23) Die Wirkung des Poles P auf die verschiedenen Punkte des Hebels nimmt zu, wenn diese Punkte sich von denjenigen entfernen, welche auf der Curve (11) liegen. Für jede Lage des Hebels muss es *vier* Maxima der Wirkung geben, nämlich ein Maximum der Abstossung zwischen O und L, ein anderes über M hinaus, ferner ein Maximum der Anziehung zwischen L und M und ein zweites über den Punkt O hinaus nach K hin. Indem man den Hebel dreht, erhält man als geometrischen Ort für diese Maxima der Anziehung und Abstossung eine leicht zu bestimmende Curve.*) Man braucht zu diesem Ende bloss den Ausdruck

$$\frac{-2\alpha\mu c^2 r^2}{m^5}\left\{\cos^2\varphi + \left(\frac{r}{c} + \frac{c}{r}\right)\cos\varphi - 3\right\} \tag{6}$$

in Beziehung auf r zu differentiiren und den Differentialquotienten gleich Null zu setzen. Auf diese Weise kommt, wenn wir den Factor $\frac{2\alpha\mu c^2}{m^7}$ fortlassen und c als Einheit der Länge nehmen[6]):

$$-5\{r^3\cos\varphi + (\cos^2\varphi - 3)r^2 + r\cos\varphi\}(r - \cos\varphi)$$
$$+\{3r^2\cos\varphi + 2(\cos^2\varphi - 3)r + \cos\varphi\}(r^2 - 2r\cos\varphi + 1) = 0,$$

oder wenn wir entwickeln

$$\begin{aligned} 2r^4\cos\varphi + (4\cos^2\varphi - 9)r^3 - \cos\varphi\,(\cos^2\varphi - 4)r^2 \\ - (5\cos^2\varphi - 6)r - \cos\varphi = 0. \end{aligned} \tag{12}$$

Es ist dieses die Polargleichung der gesuchten Curve. Um diese Curve in rechtwinkligen Parallel-Coordinaten darzustellen, wollen wir mit r multipliciren, $r\cos\varphi$ durch x, und r^2 durch $(x^2 + y^2)$ ersetzen. Wir finden alsdann:

$$\begin{aligned} (2x - 9)(y^2 + x^2)^2 + (4x^2 + 4x + 6)(y^2 + x^2) \\ - x(x^2 + 5x + 1) = 0. \end{aligned} \tag{13}$$

Die Figur 27 zeigt den Lauf der Curve, welche in jeder Lage des Hebels diejenigen Punkte, deren Drehungsmomente ein Maximum sind, bezeichnet. Diese weniger stark ausgezogene Curve ist vom 5. Grade und besteht aus zwei besonderen Theilen. Einer dieser Theile bildet ein Oval, das durch den Punkt P geht und die axiale Linie zum zweiten Male im Punkte S schneidet, welcher auf entgegengesetzter Seite vom

*) Es versteht sich, dass diese Maxima auf die durch Anziehung und Abstossung hervorgebrachten *Drehungsmomente* zu beziehen sind.

Mittelpunkte O halb so weit entfernt ist, als der Pol P. Den Punkten dieses Ovals entspricht eine Anziehung. Der andere Theil der Curve hat, wie der geometrische Ort für die indifferenten Punkte, in P einen Doppelpunkt und eine auf der axialen Linie senkrecht stehende Asymptote, die aber um die Hälfte weiter vom Drehungsmittelpunkte absteht, und ein Oval, das innerhalb des Ovales des genannten geometrischen Ortes liegt. Den Punkten dieses zweiten Theiles der Curve entspricht eine Abstossung von Seiten des Pols P.

24) Um die ganze Wirkung der beiden Pole auf einen Hebel von gegebener Grösse zu erhalten, der aus unendlich vielen unendlich kleinen Eisenstäbchen besteht, die alle auf seiner Längenrichtung senkrecht sind, muss man die Ausdrücke (6) und (7) mit dr multipliciren und dann integriren. Es sei die Länge des Hebels $2R$. Der Kürze wegen sei:

$$-\int_0^R \frac{\mu\,dr}{(r^2 - 2r\cos\varphi + 1)^{\frac{5}{2}}}\left\{r^2(\cos^2\varphi - 3) + (r^3 + r)\cos\varphi\right\} = \Phi,$$

$$\int_0^R \frac{\mu\,dr}{(r^2 + 2r\cos\varphi + 1)^{\frac{5}{2}}}\left\{r^2(\cos^2\varphi - 3) - (r^3 + r)\cos\varphi\right\} = \Psi.$$

Indem wir voraussetzen, dass der Umdrehungspunkt des Hebels in der Mitte zwischen beiden Polen liege, erhält man für das von der Wirkung beider Pole auf die ganze Länge des Hebels herrührende Drehungsmoment[7]):

$$4\alpha\{\Phi + \Psi\}.$$

Diesen Ausdruck müssen wir auf die Hälfte reduciren, sowohl wenn wir bloss die eine Hälfte des Hebels nehmen, als auch, wenn wir bloss einen der beiden Pole wirken lassen.

25) Der letzte Ausdruck ist Function von R und φ. Für eine gegebene Lage des Hebels, die durch den Werth von φ bestimmt ist, hängen Werth und Zeichen dieses Ausdruckes von der Länge R des Hebels ab. Wenn das Zeichen ein positives ist, nähert sich der Hebel der axialen Lage, wenn hingegen das Zeichen negativ ist, entfernt er sich von dieser Lage. Wenn wir R und φ als Polarcoordinaten betrachten und dann den letzten Ausdruck gleich Null setzen, so stellt die resultirende Gleichung:

$$\Phi + \Psi = 0,$$

eine Curve dar, welche sogleich die Bewegung eines Hebels von gegebener Länge in allen seinen Lagen bestimmt. Die Entwickelung dieser Gleichung ist leicht, aber etwas lang.

26) Wir haben in der 23. Nummer den Coëfficienten μ als con-

stant betrachtet. Dieses würde wirklich der Fall sein, wenn die kleinen, auf der Längenrichtung senkrecht stehenden Nadeln permanente Magnete wären, die durch die Induction der beiden Pole P und Q ihre Intensität nicht änderten. Wenn aber diese Nadeln aus weichem Eisen bestehen, so hängt die Intensität des in ihnen durch Induction der Pole hervorgerufenen Magnetismus von der Entfernung von diesen Polen ab. Sollte man nicht, nach Analogie der Kräfte, die von einem gegebenen Punkte ausgehen, annehmen, dass für den vielleicht nicht existirenden Grenzfall die Intensität des hervorgerufenen Magnetismus im umgekehrten Verhältnisse des Quadrates der Entfernung stehe?

Es sei $\varkappa$ die magnetische Intensität des Poles P, λ diejenige jedes der beiden Enden der Nadel, dann ist in der ersten Voraussetzung

$$\mu = \varkappa\lambda.$$

In der zuletzt gemachten Voraussetzung aber ergiebt sich[8])

$$\mu = \frac{\varkappa\lambda}{m^2},$$

wenn wir die Intensität des bei der Einheit der Entfernung in den Enden der Nadel von weichem Eisen durch den Pol P hervorgerufenen Magnetismus durch λ bezeichnen und m in der früheren Bedeutung nehmen. Der Fall der Natur liegt in der Mitte.

Die Curve der indifferenten Punkte wird in keiner Weise davon afficirt, gleichviel ob μ constant oder veränderlich ist: wir können also immer die Resultate der Rechnung mit dem Versuche vergleichen. In der Voraussetzung aber, dass μ veränderlich ist, erleiden die Entwicklungen der 23. Nummer nothwendige Modificationen, und die Werthe der begrenzten Integrale Φ und Ψ bleiben nicht mehr dieselben.

27) Nach dem Vorhergehenden ist das Verhalten einer zwischen den Magnetpolen aufgehängten *Turmalinsäule* kein mechanisches Paradox mehr. Man braucht nur vorauszusetzen, dass ihre kleinsten Theilchen unter der Einwirkung der Pole magnetisch werden, aber in der Art, dass die gerade Linie, welche die beiden Pole jedes kleinsten Theilchens verbindet, auf der optischen Axe senkrecht stehe. Um den Turmalin nachzuahmen, braucht man bloss ein Prisma aus einem dicken Drahte von Messing oder irgend einer andern nicht stark magnetischen Substanz herzustellen und durch dasselbe nach allen möglichen Richtungen senkrecht gegen die Axe dünne Eisendrahtstücke hindurchzustecken. Wir könnten diese Stäbchen auch durch runde dünne Eisenplättchen ersetzen, die alle senkrecht gegen die Axe angebracht sind und ihre Mittelpunkte in dieser Axe haben.

28) Um die oben*) beschriebene Erscheinung bei den Krystallen von *Zinnoxyd* zu erklären, brauchen wir bloss anzunehmen, dass in diesem Falle die permanente oder durch Induction hervorgerufene Polarität immer stattfinde nach der Richtung der optischen Axe. Um diese Erscheinungen nachzuahmen, können wir in einer gegebenen Masse, auf welche der Magnetismus nur wenig wirkt, Stäbchen von weichem Eisen anbringen, die alle gleichmässig gerichtet sind: ihre gemeinschaftliche Richtung stellt dann die optische Axe des Krystalls dar.

29) Wenn man endlich statt derjenigen Krystalle, die wir in den beiden letzten Nummern betrachtet haben, solche nehmen, deren Substanz *diamagnetisch* ist, so erklärt sich Alles in gleicher Weise, wenn man annimmt, dass die *diamagnetische Induction der magnetischen entgegengesetzt wirkt.* So machen wir die Voraussetzung, dass im *Doppelspath* die Richtungen, nach welchen in Folge der Induction die Polarität hervortritt, alle auf der optischen Axe senkrecht sind, während für den Fall des *Eises* diese Richtungen sämmtlich mit der optischen Axe zusammenfallen.

30) Wenn man die Theorie Ampère's annimmt, so kommt die Hypothese, welche wir gemacht haben (27 bis 29), auf die Annahme hinaus, dass in denjenigen Krystallen, die nicht zum regelmässigen System gehören, die elektrischen Molecularströme nicht ohne Unterschied in allen Ebenen stattfinden.

31) Hier ist nicht der Ort, um in das Detail der Versuche einzugehen, welche ich in der Absicht unternommen habe, um die verschiedenen Erscheinungen, die beim magnetischen Verhalten der Krystalle (namentlich auch der zweiaxigen) beobachtet worden sind, nachzuahmen. Eine Schwierigkeit bleibt jedoch noch übrig, diejenige, welche aus der in der 9. Nummer angeführten hervorgeht.**)

32) Herr Faraday war es, der entdeckte, dass in gewissen Krystallen eine feste Richtung von den Polen eines Magneten angezogen wird, in analoger Weise wie ich vorher die Abstossung einer solchen Richtung zuerst beobachtet hatte. Nichts lag näher als die beiden Klassen von Erscheinungen ein und derselben Ursache zuzuschreiben. Von dem wohl constatirten Faktum, dass es in den Krystallen gewisse von ihrer Struktur abhängige Richtungen giebt, die von den Magnetpolen entweder angezogen oder abgestossen werden, habe ich eine, wie mir scheint genügende, mechanische Erklärung in dem Vorstehenden

*) [D. h. in dem hier nicht publicirten Theile der ursprünglichen Abhandlung.]

**) [Diese Schwierigkeit ist indessen durch die Anmerkung S. 305 bereits gehoben.]

gegeben. Es bleibt hiernach noch die grosse Frage zu entscheiden übrig, welcher Ursache diese Erscheinungen zuzuschreiben seien, was zuletzt darauf hinauskommt, sich über die Natur des Magnetismus selbst auszusprechen. Ist es die Form und die gegenseitige Lagerung der kleinsten Theilchen des Krystalls, welche an und für sich die Wirkung des Magneten modificirt, oder wird vielmehr der Magnetismus wie das Licht durch die Bewegung eines Aethers, dessen Elasticität im Innern der Krystalle Modificationen erhält, hervorgebracht?

33) Indem wir die Anschauungsweise des grossen englischen Experimentators, dass die Richtung, welche angezogen wird, auf der Hauptspaltungsfläche senkrecht steht, adoptiren, und indem wir ausserdem annehmen, dass in anderen Krystallen dieselbe Richtung abgestossen werde, so kommen wir — sei es, dass nur eine Spaltungsfläche vorhanden ist, sei es, dass mehrere Spaltungsflächen sich vorfinden und man die resultirende Wirkung betrachten muss —, nothwendig zu der Folgerung, dass es in den einaxigen Krystallen eine einzige Richtung giebt, die von den Magnetpolen entweder abgestossen oder angezogen wird, und es ist evident, dass diese einzige Richtung mit der optischen Axe, um welche herum alles symmetrisch ist, zusammenfallen muss. In den einaxigen und negativen Krystallen, die ich untersucht habe, wurde die optische Axe abgestossen, in den positiven angezogen. Hiernach habe ich die Klassification der Krystalle in positive und negative auch auf die undurchsichtigen, wie Wismuth, Antimon, Arsen, ausdehnen zu können geglaubt. Aber selbst dann, wenn wir in Folge späterer Beobachtungen gezwungen werden sollten, die Analogie zwischen Magnetismus und Licht aufzugeben, würde in magnetischer Hinsicht diese Eintheilung noch fortbestehen. Dann müsste man *neben einander* die magnetischen Axen und die optischen Axen betrachten; diese wie jene sind entweder negativ oder positiv. Ebenso unterscheidet man ja in vielen zweiaxigen Krystallen für die verschiedenen Farben verschiedene Axen, die entweder in derselben Ebene liegen oder nicht. Die einaxigen Krystalle entscheiden hier nicht, ich habe mich zu den zweiaxigen Krystallen wenden müssen, um auf die allgemeinen Fragen eine Antwort zu suchen. Da diese Untersuchungen noch nicht vollendet sind, so enthalte ich mich für den Augenblick jeder Folgerung, die jetzt noch nothwendig eine übereilte sein würde.

34) Die Experimentaluntersuchungen werden dadurch in hohem Grade complicirt, dass den Krystallen gewöhnlich fremde Substanzen beigemengt sind. So sind zum Beispiel die Arsenkrystalle des Herrn Faraday diamagnetisch, die meinigen, offenbar weil sie eisenhaltig sind, magnetisch, und zwar für jede Entfernung von den Polen. Aber die beider-

seitigen Krystalle stellen sich zwischen den Magnetpolen so, dass die auf der Spaltungsfläche senkrechte Richtung immer mit derjenigen Richtung, welche die beiden Pole verbindet, zusammenfällt. Wenn das Eisen in die Zusammensetzung der kleinsten Theilchen, aus welchen der Krystall besteht, als chemischer Bestandtheil einträte, so sollte man erwarten, dass die Axe des Krystalls einmal angezogen und das andere Mal abgestossen würde. Daraus aber, dass das Gegentheil stattfindet, glaube ich mich zu der Folgerung berechtigt, dass das Eisen in den von mir untersuchten Krystallen keine Beziehung zur Krystallisation des Arsens hat, sondern dass es sich demselben nur als fremder Körper beigemischt vorfindet.

35) Nach unserer Auffassungsweise sollte man erwarten, dass in organischen Substanzen sich Erscheinungen darbieten müssten, welche den bei Krystallen beobachteten analog wären. So würde man erwarten, dass ein organisches Gewebe, das mit einer magnetischen Substanz getränkt ist, in magnetischer Hinsicht sich nicht nach allen Richtungen gleich verhielte, sondern dass vielmehr nach der Längenrichtung der mit der magnetischen Substanz angefüllten capillaren Kanäle der Magnetismus stärker aufträte als nach anderen Richtungen.

36) In gewissen Krystallen könnte man sogar daran zweifeln, ob die beobachteten Erscheinungen unmittelbar von der krystallinischen Form und ihrer etwaigen Einwirkung auf den Aether herrühren, oder nicht vielmehr von einem fremden magnetischen Körper, der zwischen den kleinsten Theilchen des Krystalls regelmässig und in einer Weise, die von der Krystallform abhängt, vertheilt ist. Hierhin rechne ich namentlich den Fall vieler Krystalle, welche in ihrer Reinheit kein Eisen enthalten, während dasselbe ihnen sonst in verschiedener Proportion beigemischt ist. Ich führe hier bloss Zinnstein und Wernerit an, welche nur, wenn ihre Substanz magnetisch sich verhält, die fraglichen Erscheinungen zeigen und zwar in hohem Grade, sodass der erstgenannte Krystall sich schon durch den Magnetismus der Erde richtet.

37) Wenn die fremden magnetischen Substanzen unregelmässig vertheilt sind durch die Masse eines krystallisirten Körpers — beispielsweise nenne ich gewisse Turmalinkrystalle, wo die ungleiche Vertheilung durch die Verschiedenheit der Farbe angezeigt wird —, so wird dadurch die Wirkung des Magneten nothwendig gestört, und diese kann sogar dem Krystalle eine bestimmte Richtung geben, der ohne dieses sich nicht richten würde.

Endlich kann eine Spur von zufällig anhaftendem Eisen unter

Verhältnissen, die erwähnt zu werden verdienen, die Veranlassung zu einem Irrthum werden. Um einen bestimmten Fall vor Augen zu haben, wollen wir eine Bergkrystallplatte oder ein Prisma aus derselben Substanz nehmen, welche beide zwischen den Polen aufgehängt, sich in Folge der gewöhnlichen diamagnetischen Wirkung so stellen, dass die vorherrschende Dimension sich äquatorial richtet. Wenn man, um die diamagnetische Wirkung mehr zurückzudrängen, diese Dimension verkürzt, indem man sich dabei eines eisernen Hammers bedient, so wird gewöhnlich der Fall eintreten, dass ein wenig Eisen an den mit dem Hammer berührten Stellen des Krystalls haften bleibt. Dieses anhaftende Eisen wird keineswegs angezeigt, wenn man den Krystall einem mächtigen Magnetpole nähert; wenn man ihn aber von demselben gehörig entfernt, so überwiegt die magnetische Anziehung des Eisens die diamagnetische Abstossung der Masse des Krystalls. Es folgt dies aus dem in der 5. Nummer angezogenen Gesetze. Ohne dieses Gesetz zu kennen und zu berücksichtigen, müssen wir aus der Bewegung, welche der zwischen den beiden Polen aufgehängte Krystall annimmt, nothwendig schliessen, dass in dem Fall des Prismas (einer natürlichen Säule) die optische Axe angezogen werde, während in dem Falle einer auf der optischen Axe senkrechten Platte Abstossung dieser Axe stattfinde. Ich bin zu verschiedenen Zeiten in diesen doppelten Irrthum verfallen, das erste Mal bei der damaligen Kenntniss der Sache ganz unverschuldet. Die obige Erscheinung tritt nicht mehr ein, wenn man vorher den Krystall in Säure legt, die das Eisen fortnimmt. Jetzt muss ich mich, in Uebereinstimmung mit Herrn Faraday, dahin aussprechen, dass die Axe des Bergkrystalls von den Polen des Elektromagneten weder merklich angezogen, noch merklich abgestossen werde.

24.

Ueber das Gesetz der Induction bei paramagnetischen und diamagnetischen Substanzen.*)

(Annalen der Physik und Chemie, Bd. 91, S. 1—56. 1854.)

§ 1.

Theoretisches.

1) Nachdem Herr Faraday durch eine neue Reihe von Experimentaluntersuchungen dem Magnetismus die Bedeutung einer allgemeinen Naturkraft und ihm zum Begleiter den Diamagnetismus gegeben hatte, lag der Gedanke nahe, in analoger Weise, wie das specifische Gewicht der Körper durch Zahlen ausgedrückt wird, so auch durch Zahlen den specifischen Magnetismus der verschiedenen (paramagnetischen und diamagnetischen) Körper unabhängig von Grösse und Gestalt derselben auszudrücken.**)

Hiernach würde für jeden Körper der specifische Magnetismus eine charakteristische Constante, wie es das specifische Gewicht ist. Dieses letztere bleibt unverändert dasselbe, wenn für verschiedene Punkte der Erde die Anziehungskraft derselben sich ändert; es würde auch dann dasselbe bleiben, wenn wir die Bestimmung desselben auf einem anderen Planeten machen könnten. Indem wir nämlich das Gewicht des Wassers bei gegebenem Volumen als Einheit nehmen und damit das Gewicht der anderen Körper bei gleichem Volumen vergleichen, kommt es nicht darauf an, unter welchen Gravitätsverhältnissen die Gewichtsbestimmungen gemacht werden, vorausgesetzt nur, dass jene Verhältnisse für alle Körper dieselben seien. Die Gravitation wird dabei eliminirt,

*) Die Resultate dieser Abhandlung sind bereits der Brittischen Association zu Hull am 12. September 1853 vorgelegt worden und so bereits in ausländische Journale übergegangen. [Brit. Assoc. Report 1853, II, p. 7—8]

**) Ueber Intensitätsbestimmung der magnetischen und diamagnetischen Kräfte. 10. Juni 1848. Annalen, Bd. 74, S. 321. [Werke II, Abhandl. 7.]

specifisches Gewicht und Dichtigkeit werden identische Begriffe. Als geringere oder grössere Annäherung gilt Analoges auch für den specifischen Magnetismus der meisten Körper. Sobald er nicht, wenigstens innerhalb gewisser Grenzen und zwischen diesen wenigstens annäherungsweise, von der Grösse der inducirenden Kraft unabhängig ist, kann eigentlich von einem specifischen Magnetismus in obigem Sinne keine Rede mehr sein.

2) Die Wärmemenge, die einem Körper zugeführt werden muss, um eine bestimmte Temperaturerhöhung desselben hervorzubringen, ist verschieden nach der Temperatur, die der Körper bereits hat. Die specifische Wärme eines Körpers ist kein ganz absoluter Begriff, sie wird durch eine Zahl ausgedrückt, die von der Temperatur des Körpers abhängt. In ganz gleicher Weise ist das Vermögen einer Substanz, neuen Magnetismus anzunehmen, abhängig von dem bereits angenommenen Magnetismus, und hiernach *der specifische Magnetismus eine Function der Grösse der inducirenden Kraft.*

3) Ich habe in dem Nachstehenden meine bisherige Anschauung festgehalten, dass der Zustand der verschiedenen Körper bei paramagnetischer und diamagnetischer Erregung ein vollkommen identischer sei. Nur wenn wir auf die Induction, welche diesen Zustand hervorruft, zurückgehen, ergiebt sich ein Gegensatz in der auftretenden Polarität. In dem Falle diamagnetischer Substanzen leitet sich aus ihrer *Abstossung* durch den inducirenden Magneten ebenso der specifische Magnetismus ab, wie dieses in dem Falle paramagnetischer Substanzen aus ihrer *Anziehung* durch den inducirenden Magneten geschieht.

4) Einen indirecten Beweis der obigen Behauptung, dass der specifische Magnetismus der Körper mit der Stärke der Induction sich ändere und zwar für verschiedene Substanzen in verschiedener Progression, liefern die vielen zum Theil überraschenden Beobachtungen, auf welche ich zuerst die Aufmerksamkeit der Physiker gelenkt habe, in welchen bei wachsender Kraft des inducirenden Magneten gewisse Körper, die aus paramagnetischen und diamagnetischen Substanzen gemengt sind, anfangs angezogen, dann abgestossen werden. Für die beobachteten Fälle steht es unumstösslich fest, *dass die Abstossung der diamagnetischen Substanzen rascher bei zunehmender Kraft wächst und also auch rascher bei abnehmender Kraft sich vermindert*, *als die Anziehung der magnetischen Substanzen.* Es ist dieses ein *mathematischer* Ausdruck für die beobachtete Erscheinung, wobei nur die bei manchen der angezogenen Versuche unzweifelhafte Voraussetzung gemacht wird, dass die paramagnetische Erregung der einen Substanz und die dia-

magnetische der anderen keine gegenseitige Einwirkung auf einander ausüben.

5) In meiner theoretischen Auffassung habe ich dieses Gesetz keineswegs als eine *Unterscheidung zwischen paramagnetischen Substanzen und diamagnetischen* angesehen. Zwei kreuzweise verbundene Stäbe, der dickere von Stahl, der dünnere von Eisen, so aufgehängt, dass sie in der Horizontalebene frei schwingen können, richten sich bei zunehmender inducirender Kraft (bei allmäliger Annäherung an einen starken Magnetpol) anfänglich nach der Axe des Eisenstabes, später nach der Axe des Stahlstabes. *Beim Stahle nimmt der inducirte Magnetismus in rascherem Verhältnisse zu und ab als beim Eisen.* Wir werden sehen, wie diese Analogie der allgemeinen Erklärung der fraglichen Erscheinungen wenig förderlich war.

6) Um das mathematische Gesetz der 4. Nummer zu einem physikalischen umzugestalten, können wir nur Hypothesen setzen, die um so mehr Grund gewinnen, je einfacher sie die verschiedenen Beobachtungen mit einander verknüpfen. Die Hypothese, welche am nächsten liegt, ist anzunehmen, dass der inducirte Magnetismus dem inducirenden proportional sei, dass beide sich zu einander wie Ursache und Wirkung verhalten. Bezeichnen wir demnach die Intensität des inducirenden Magneten durch M, so ist die Intensität des in einem genäherten Körper inducirten Magnetismus

$$\lambda M$$

und demnach die resultirende Anziehung oder Abstossung[1])

$$\lambda M^2$$

also *proportional dem Quadrate der Intensität des inducirenden Magneten.*

7) Wenn die Voraussetzung zulässig ist, dass die inducirende Kraft von einem Punkte ausgeht, und dann das Vorstehende auf die Einheit der Entfernung bezogen wird, so wird bei der Entfernung r die inducirende Kraft $\frac{M}{r^2}$, mithin der inducirte Magnetismus

$$\frac{\lambda M}{r^2},$$

und die resultirende Anziehung oder Abstossung

$$\frac{\lambda M^2}{r^4},$$

also umgekehrt der *vierten* Potenz der Entfernung proportional.[1])

8) Wir wollen zuerst annehmen, dass der angewandte Magnet von unveränderlicher Kraft sei, und dass gleiche kleinste Massentheilchen dm der in magnetischer Hinsicht zu untersuchenden Substanzen nach

einander in *dieselbe* Lage gegen die Pole des Magneten gebracht werden. Dann können wir den in diesen Massentheilchen inducirten Magnetismus durch Ausdrücke von der Form

$$M\lambda dm$$

darstellen. In diesen Ausdrücken ändert sich von einer Substanz zu einer anderen der Werth von λ. Diesen Werth von λ wollen wir den jedesmaligen *Inductionscoëfficienten* nennen.

9) Wenn wir irgend eine Substanz zum Vergleichungspunkte nehmen, etwa das Eisen (wie bei der Bestimmung des specifischen Gewichts das Wasser), und den Inductionscoëfficienten für das Massentheilchen desselben durch λ' bezeichnen, so ist der Quotient $\frac{\lambda}{\lambda'}$ der *specifische Magnetismus* des Massentheilchens der jedesmaligen Substanz. *Derselbe* Quotient ergiebt sich aber auch, wenn wir die magnetischen Anziehungen oder diamagnetischen Abstossungen des Massentheilchens der zu untersuchenden und der ein für alle Mal zur Vergleichung gewählten Substanz, ausgedrückt durch[1])

$$M^2\lambda dm \qquad M^2\lambda' dm,$$

in einander dividiren.

10) Wenn der Inductionscoëfficient für alle Massentheilchen eines dem Magneten genäherten Körpers derselbe wäre, und nur M mit der Entfernung sich änderte, so könnten wir den beiden Substanzen, der zu untersuchenden und der ein für alle Mal zur Vergleichung gewählten, *dieselbe*, übrigens ganz beliebige Form und Dimension geben und sie in *dieselbe*, ganz beliebige Lage gegen den Magneten bringen. Alsdann wäre der specifische Magnetismus der erstgenannten Substanz durch den Quotienten gegeben, den wir erhalten, wenn wir die beobachtete, in Gewichten ausgedrückte endliche Anziehung oder Abstossung dieser Substanz durch die Anziehung der anderen dividiren.

11) Von dieser Voraussetzung bin ich in meiner Abhandlung von 1848 ausgegangen. Später, mit sehr vervollkommneten Beobachtungsmitteln, habe ich in eben dieser Voraussetzung den specifischen Magnetismus des Sauerstoffgases bestimmt. Aber von Anfang an habe ich mich gegen die *absolute Richtigkeit* der obigen Voraussetzung — ohne welche überhaupt eine eigentliche Vergleichung der Fähigkeit verschiedener Substanzen, Magnetismus aufzunehmen, nicht stattfinden kann, und der Begriff des specifischen Magnetismus keine allgemeine Bedeutung mehr hat — verwahrt. Es liegt mir zunächst ob, auf neue Beobachtungen gestützt, dieser Verwahrung ihre volle Entwickelung zu geben, wodurch, wie ich glaube, die bisherige Auffassung der mag-

netischen und diamagnetischen Erscheinungen eine wesentliche Umgestaltung erleiden wird.

12) Die Frage über die Constanz des Inductionscoëfficienten λ knüpft sich an die Discussion der beiden Gesetze der 6. und 7. Nummer, namentlich des ersteren. Diese Gesetze müssen nothwendigerweise fallen, sobald der Coëfficient λ nicht von M, der Intensität der magnetischen Wirkung, unabhängig ist. Wenn diese Unabhängigkeit nicht besteht, so folgt daraus, dass in demselben Körper der Werth von λ sich auch mit der Lage des Massentheilchens gegen den Magneten ändert. Dann ist, wenn wir überhaupt voraussetzen dürfen, dass die ganze inducirende Wirkung von einem einzigen Punkte ausgehe, in dem Integral

$$M\int\frac{\lambda\, dm}{r^2},$$

welches den in einem gegebenen Körper hervorgerufenen Magnetismus ausdrückt[1]), λ Function von r. Hierin liegt ein nicht ganz zu beseitigender Fehler, wenn wir aus der beobachteten Anziehung oder Abstossung, welche der Magnet auf Körper von endlichen Dimensionen ausübt, die Aenderungen, die der Werth von λ erleidet, ableiten wollen.

13) Die nächste Schwierigkeit für die Discussion des Gesetzes der 6. Nummer liegt in der Unmöglichkeit, die Intensität der magnetischen Kraft, welche die inducirende Wirkung ausübt, anders als in der Annahme, dass, für *eine* Substanz wenigstens, λ constant sei, direct zu messen. Und indirecte Messungen, indem man den Magneten unter der Einwirkung einer constanten magnetischen Kraft, des Erdmagnetismus zum Beispiel, schwingen lässt, reichen, wenn sie überhaupt anwendbar sind, bei starker Wirkung nicht aus. In dem folgenden Verfahren wird diese Schwierigkeit eliminirt.

14) In einer Rinne, nach dem magnetischen Meridian gerichtet, sind zwei gleiche Magnete von gehärtetem Stahle verschiebbar, zwischen welchen in der gemeinschaftlichen Axenrichtung derselben ein kleines Eisenstäbchen an einem Faden aufgehängt ist, das, wenn es unter dem Einflusse der beiden Magnete oder eines derselben magnetisch wird, um die Gleichgewichtslage frei schwingen kann. Nachdem die Anzahl der Schwingungen n, die es unter der Einwirkung eines der beiden Magnete in einer gegebenen Zeit macht, bestimmt worden ist, wird dieser Magnet fortgenommen, und auf der anderen Seite des Stäbchens der andere Magnet mit dem entgegengesetzten Pole so lange genähert, bis das Stäbchen wieder dieselbe Anzahl von Schwingungen macht und also bei gleicher Polarität ebenso stark magnetisch geworden ist, als zuvor. Wenn man hiernach beide Stahlmagnete zugleich auf das

Stäbchen wirken lässt, so befindet es sich unter der doppelten inducirenden Kraft. Dann verlangt das obige Gesetz, dass der inducirte Magnetismus doppelt, die Anziehung viermal so gross sei. Es müsste also das Stäbchen in derselben Zeit $2n$*) Schwingungen machen. (Bei einiger Entfernung darf wohl angenommen werden, dass die möglichst stark magnetischen Stahlstäbe nicht merklich inducirend auf einander wirken, was übrigens leicht, indem man die Stäbe unter dem Einflusse des Erdmagnetismus schwingen lässt, sich verificiren lässt.)

15) Dieser Versuch ist einstweilen nur mit Herrn Fessel besprochen, nicht ausgeführt. Ich bin aber auf Grund der später anzuführenden Versuche im Voraus überzeugt, dass die zu beobachtende Anzahl der Schwingungen hinter der bezeichneten Anzahl, die nur als ein Grenzwerth anzusehen ist, zurückbleiben wird, und dass also die doppelte inducirende Kraft nicht den doppelten Magnetismus im Eisenstäbchen hervorruft. Wir müssen in diesem Stäbchen einen *Widerstand***) annehmen, welcher der Hervorrufung des Magnetismus in demselben sich widersetzt.

Ersetzen wir das Eisenstäbchen durch ein ganz gleiches Stäbchen von Nickel, Kobalt, Magneteisenstein, so erhalten wir bei einfacher Kraft *eine andere magnetische Intensität* und bei verdoppelter Kraft ein anderes Zurückbleiben gegen die doppelte Schwingungszahl: *einen anderen Widerstand.*

16) Ich habe bei diesem Versuche hier ausführlicher verweilt, um die Frage bestimmter zu formuliren, und wende mich nun zu den Versuchen mit dem grossen Elektromagneten zurück. Mein Verfahren, den Magnetismus der verschiedenen Substanzen zu bestimmen, weicht nicht wesentlich von dem früher von mir befolgten und beschriebenen ab. Ich bediene mich einer Geissler'schen Glaswaage, welche recht gut eine Belastung von 60—80 gr. auf jeder Seite verträgt und für ein Zehntel-Milligramm noch einen namhaften Ausschlag giebt, um die Anziehung, welche der Elektromagnet nach einander auf verschiedene Substanzen ausübt, die genau denselben Raum ausfüllen und genau in dieselbe Lage gegen den Magneten gebracht worden sind, zu bestimmen. Die von mir untersuchten Substanzen sind sämmtlich entweder gasförmig oder

*) [Im Original steht irrthümlicherweise $16n$.]

**) Ich gebrauche hier das Wort „Widerstand“ in demjenigen Sinne, in welchem man dieses Wortes sich bedienen würde, wenn man den Magnetismus als Bewegung auffasst, der sich Hemmnisse irgend einer Art entgegenstellen; sehe hierin aber ein blosses Bild, dem wir unsere Ausdrucksweise anpassen. So lange müssen wir nothwendig eine solche bildliche Sprache reden, als wir in die eigentliche Natur des Magnetismus keinen Blick gethan.

flüssig oder, wenn sie fest sind, in möglichst feines Pulver zertheilt und in diesem letzteren Falle, wenn die Anziehung zu stark ist, mit einer Mischung von Schmalz und etwas Wachs innigst verrieben. Sie werden nach einander in dasselbe Glasgefäss gebracht, und dieses genau in gleicher Weise damit angefüllt. Die Form des Glases, von möglichst dünner Wandung, ist entweder die Kugelform oder eine solche, welche bei einer geringeren Masse der zu prüfenden Substanz durch die grössere Annäherung derselben an die Pole eine verhältnissmässig stärkere Anziehung oder Abstossung giebt. In diesem letzteren Falle hat das Fläschchen einen längeren Hals, in den ein leichter, mit einem Ringe zum Aufhängen versehener eingeschliffener Glasstöpsel möglichst genau passt. Für die Schmalzmischungen ist der Hals weiter und kurz, und um diesen wird, wenn das Gefäss gefüllt und abgestrichen ist, ein dünner Kupferring befestigt und dieser durch drei dünne Kupferdrähte, die oben in einen einzigen zusammenlaufen, getragen.

17) Auf die Polflächen des grossen Elektromagneten werden die beiden schweren Halbanker so aufgelegt, dass sie mit ihren abgerundeten Enden einander bis auf 5,5 ^{mm} genähert und in dieser Entfernung durch ein dazwischen geklemmtes Messingstück festgehalten werden. Auf einem dieser Halbanker steht die Waage, an deren einem Arme das Glasgefäss so aufgehängt wird, dass es, wenn der Zeiger der Waage auf Null steht, die beiden Halbanker in denjenigen beiden Punkten ihrer oberen Flächen, die einander am nächsten liegen, berührt. Die Abwägungen geschehen nicht oberhalb der Pole, und erst nachdem das Glasgefäss seitwärts äquilibrirt worden, wird es durch eine Drehung der Waage über die Pole gebracht.

Nachdem die Kette geschlossen, wird das Glasgefäss entweder angezogen oder abgestossen. Um die *Anziehung* zu bestimmen, werden auf die am anderen Arme der Waage hängende Schale kleine Gewichte so lange behutsam zugelegt, bis das Glasgefäss von dem Magneten abgerissen wird. Bei schwacher Wirkung wird nach einer vorläufigen Bestimmung ein Reiter von feinem Platindrahte, 0,01 gr. schwer, auf einem der beiden in 100 Theile eingetheilten Arme der Waage vorsichtig bis zum Abreissen des Glases von den Polen fortgeschoben, und dann differiren unmittelbar einander folgende Bestimmungen nicht um ein Milligramm. Bei stärkerer Wirkung (Füllung mit Eisenoxyd) ist eine grössere Genauigkeit als ein Centigramm in den einzelnen Bestimmungen nicht erstrebt worden. Durch die dadurch bedingte längere Schliessungsdauer des Stromes würde mehr verloren, als durch eine grössere Genauigkeit in der Bestimmung des zum Abziehen erforderlichen Gewichtes gewonnen. Wo die Wirkung am stärksten ist (bei

starkem Strome und einer Füllung mit einer etwa ein Proc. Eisen enthaltenden Schmalzmischung), kommen selbst mehrere Centigramme auf eine Anziehung von 40 gr. und mehr nicht in Betracht. Nach jeder Bestimmung wird die Kette geöffnet.

18) Was die Bestimmung der *Abstossung* diamagnetischer Substanzen betrifft, so ist das Verfahren ganz dasselbe, so lange der Diamagnetismus der Füllung geringer ist, als der schwache Magnetismus des Glasgefässes. Dann ist die Anziehung des leeren Glases grösser als die Anziehung des gefüllten, und wir müssen, umgekehrt wie früher, um die Abstossung zu erhalten, die letztere Anziehung von der ersteren abziehen. Wenn hingegen die diamagnetische Abstossung der Substanz die magnetische Anziehung des Glasgefässes überwiegt, wird dieses letztere wie bisher über den Polen ajustirt, und Gewichte werden so lange von der Waagschale fortgenommen, bis nach Schliessung der Kette der Elektromagnet nicht mehr im Stande ist, das aufliegende Glasgefäss abzustossen. Hier thut der Reiter wiederum seine guten Dienste. Unter günstigen Verhältnissen (beim Phosphor zum Beispiel), wenn namentlich die Waage nicht übermässig belastet ist, weichen auch hier auf einander folgende Bestimmungen nicht um ein Milligramm ab; unter ungünstigen Umständen steigt diese Abweichung höchstens auf ein Centigramm. Im Jahre 1848 habe ich die Bestimmung der diamagnetischen Abstossung, auch wenn sie stärker ist, durch Hinzufügung eines magnetischen Körpers auf die zuerst bezeichnete zurückgeführt, seitdem aber die Vorzüge des neueren Verfahrens erkannt.

19) Nach der in der letzten Nummer beschriebenen Methode habe ich im Laufe der letzten Jahre eine grosse Menge von Bestimmungen gemacht, theils in der Absicht, Analogien zwischen dem magnetischen Verhalten der Körper und ihrer chemisch-atomistischen Zusammensetzung aufzufinden, theils zur Aufstellung eines allgemeinen Gesetzes der magnetischen Induction. Während ich die in der ersten Absicht gemachten Bestimmungen einer zweiten Mittheilung vorbehalte, werde ich im zweiten Paragraphen der gegenwärtigen die Resultate derjenigen Beobachtungen mittheilen und discutiren, die sich auf den zweiten Gegenstand beziehen und welche beweisen, dass der inducirte Magnetismus der Intensität des inducirenden Magneten *nicht* proportional wächst, sondern *dass nach der Natur der verschiedenen Körper dieses Wachsen einerseits einer solchen Proportionalität sich annähert, andererseits aber bald aufhört, überhaupt merklich zu sein.*

20) Wir erhalten auf diese Weise die volle experimentale Begründung für die frühere Behauptung, dass wir einen Widerstand annehmen

müssen, welcher sich der zunehmenden Magnetisirung eines Körpers immer mehr widersetzt, und demzufolge wir den in einem Massentheilchen dm inducirten Magnetismus nicht der inducirenden Kraft M proportional setzen und durch

$$M\lambda dm$$

ausdrücken können. Innerhalb engerer oder weiterer Grenzen können wir diesen Widerstand annäherungsweise einer n^{ten} Potenz des ohne ihn erregten Magnetismus proportional setzen und erhalten dann statt des obigen Ausdruckes den folgenden:

$$(M\lambda - \mu M^n \lambda^n)dm = M\lambda(1 - \mu M^{n-1}\lambda^{n-1})dm.$$

Es ist hierbei M eine Function der Entfernung des Massentheilchens dm von denjenigen Punkten, von welchen die inducirenden Kräfte ausgehen. Wenn sich diese auf eine von einem einzigen Punkte ausgehende Kraft reduciren lassen, so können wir M durch den Ausdruck $\frac{m}{r^2}$ ersetzen, wobei r die Entfernung des Massentheilchens von dem Mittelpunkte der Kraft, und m eine Constante bezeichnet.

21) Die Constante λ haben wir oben bereits den Inductionscoëfficienten genannt, μ wollen wir den Widerstandscoëfficienten nennen. Also nur insofern wir $\mu(M\lambda)^{n-1}$ gegen die Einheit vernachlässigen können, bestimmen die Werthe des Inductionscoëfficienten λ den specifischen Magnetismus der verschiedenen Substanzen.

22) Wenn $n = 1$, das heisst, wenn der Widerstand einfach dem inducirten Magnetismus proportional wäre, so reducirte sich der Werth der Inductionsconstanten dadurch auf $(1 - \mu)\lambda$, und wir brauchten keinen Widerstand anzunehmen. Jede Substanz hätte dann ihren bestimmten specifischen Magnetismus ganz unabhängig von der Grösse der inducirenden Kraft. Es widerspricht dies geradezu unseren Beobachtungen.

23) Wenn $n = 0$, das heisst, wenn ein constanter Widerstand μ zu überwinden wäre, so müssten wir annehmen, dass erst für

$$M > \frac{\mu}{\lambda}$$

Inductionswirkung einträte und diese, wenn sie einmal eingetreten wäre, rascher als M zunähme, nämlich proportional mit $\left(M - \frac{\mu}{\lambda}\right)$. Wenn wir aber auch das Erste als noch nicht entschieden widerlegt ansehen wollten, unsere Beobachtungen geben gerade das Gegentheil des Zweiten. Einen solchen constanten Widerstand entnahm ich früher aus Analogien, denen ich sonst aber keine Bedeutung beilegte, und in der Sprache dieser Analogien musste ich damals, als die neuen Be-

stimmungen noch nicht vorlagen, sagen, „weil der inducirte Magnetismus diamagnetischer Substanzen mit der inducirenden Kraft rascher zunimmt als beim Eisen, ist der Widerstand bei ersteren grösser als beim letzteren.“ [Vgl. S. 301.] Hier bot sich das Verhalten des Stahles zum Eisen als Analogie des Verhaltens des Wismuths zum Eisen dar.

Der Werth von λ ist von einer Substanz zur anderen veränderlich. Demnach müssten wir auch in der fraglichen Unterstellung bei schwach paramagnetischen Substanzen die beobachtete schnellere Zunahme des inducirten Magnetismus als Folge eines verhältnissmässig grösseren Widerstandes erklären.

24) Es kann n also nicht Null sein, es kann überhaupt nicht kleiner, es muss *grösser* als die Einheit sein. Denn nur unter dieser letzten Voraussetzung wächst die Intensität des inducirten Magnetismus langsamer als die inducirende Kraft. Nennen wir jene Intensität J, so giebt die Gleichung:

(1) $$J = M\lambda(1 - \mu M^{n-1}\lambda^{n-1})dm,$$

wenn wir differentiiren

$$\frac{dJ}{dM} = (\lambda - n\mu\lambda^n M^{n-1})dm,$$

und dieser Ausdruck wird, je nachdem $n < 1$ oder $n > 1$, bei zunehmendem M im zweiten Falle kleiner, im ersten grösser. Und somit sind wir gezwungen anzunehmen, dass bei dem magnetischen Eisen der Widerstand verhältnissmässig grösser ist, als bei dem diamagnetischen Wismuth. So hat, indem die eine physikalische Auffassung an die Stelle der anderen getreten ist, das an und für sich unumstössliche Gesetz der 4. Nummer eine Aussage erhalten, die der früheren *geradezu widerspricht.* Eine Analogie finden wir in dem Brechungsgesetz des Lichtes, welches als mathematischer Ausdruck für die Resultate der Beobachtung unangetastet geblieben ist; in der Undulationstheorie wird daraus der physikalische Satz abgeleitet, dass in dichteren Medien das Licht sich langsamer bewegt, während die Emissionstheorie früher gerade das Umgekehrte daraus folgerte.

25) Es ist also $n > 1$. Der Annahme, dass $n = 2$ sei, steht entgegen, dass, wenn M durch Null hindurchgeht, die Polarität des inducirenden Magneten sich ändert, und nachher, bei umgekehrter Polarität, sich Alles in gleichem Maasse wiederholt. Dem entsprechend dürfen in dem Ausdrucke für J, wenn wir ihn nach steigenden Potenzen von M entwickeln, nur die ungeraden Potenzen vorkommen. Demnach werden wir, indem wir $n = 3$ nehmen, auf die folgende Gleichung geführt

(2) $$J = \lambda M(1 - \mu\lambda^2 M^2)dm$$

und erhalten hiernach, wenn wir die Anziehung A nennen und durch $\varkappa$ eine Constante bezeichnen, die von der Einheit abhängt, durch welche wir diese Anziehung messen[2]),

$$A = \varkappa \lambda M^2 (1 - \mu \lambda^2 M^2) dm. \tag{3}$$

26) Innerhalb derselben Grenzen, innerhalb welcher die vorstehenden Annäherungsgleichungen gelten, können wir dieselben nach gehöriger Constantenbestimmung auch mit den folgenden vertauschen:

$$J = k \text{ arc tang} \left(\frac{M}{c}\right) \cdot dm, \tag{4}$$

$$A = \varkappa M k \text{ arc tang} \left(\frac{M}{c}\right) \cdot dm. \tag{5}$$

Die Gleichung (4) giebt unter Vernachlässigung der fünften und der höheren Potenzen von M

$$J = k \frac{M}{c} \left(1 - \frac{M^2}{3c^2}\right) dm$$

und stimmt mit der Gleichung (2) überein, wenn wir

$$\lambda = \frac{k}{c}, \quad \mu = \frac{1}{3k^2}$$

setzen.

Bei paramagnetischen Substanzen ist λ und dementsprechend k *positiv*, bei diamagnetischen *negativ* zu nehmen.

27) Die Kraft unseres Elektromagneten bei der Art, wie wir uns desselben bedienen, und demnach auch der Werth von M ist aber zu gross, als dass wir bei den beiden ersten Gliedern der Entwickelung von J stehen bleiben könnten. Die Gleichungen (2) und (3) versagen hier den Dienst, wir müssen hier mehr Glieder hinzunehmen. Dagegen stellen die Gleichungen (4) und (5) als Annäherungsformeln wenigstens die Beobachtungen gut dar, wenn sie auch nicht das Gesetz der magnetischen Induction selbst wirklich ausdrücken. Die beiden Constanten k und c erhalten hierbei für jede besondere paramagnetische und diamagnetische Substanz besondere Werthe.

28) Welches auch die inducirende Kraft sei, welche in einer Substanz magnetische Polarität hervorruft, ob ein Magnetpol oder ein magnetischer Strom, sie findet in derselben Substanz bei gleich stark erregtem Magnetismus immer denselben Widerstand. Demnach ist die in einem Eisenkern durch verschiedene Stromstärken hervorgerufene magnetische Kraft durch dieselbe Formel auszudrücken. Es ist, wenn wir den erregten Magnetismus durch M, die Stromstärke durch S und durch K und C zwei Constante bezeichnen

$$M = K \text{ arc tang} \left(\frac{S}{C}\right) \cdot \tag{6}$$

Die Herren Lenz und Jacobi stellten zu einer Zeit, da genaue Beobachtungen noch unvergleichlich viel schwieriger waren als jetzt, das Gesetz auf, dass die Stromstärke dem inducirten Magnetismus proportional sei. Das würde die vorstehenden Gleichungen auf das erste Glied ihrer Entwickelung reduciren und

$$\frac{M}{K} = \frac{S}{C}$$

geben. Unsere späteren Beobachtungen berechtigen uns für unseren grossen Hufeisen-Elektromagneten als erste Annäherung, aber nur für schwächere Ströme, dasselbe anzunehmen.

29) Hier tritt uns nun zunächst die Frage entgegen, nach welcher Einheit wir für einen gegebenen Elektromagneten M messen sollen. Dadurch namentlich, dass die beiden Halbanker auf die Polflächen desselben aufgelegt und beliebig einander genähert werden, vergrössert sich gewissermaassen die inducirte Eisenmasse, und die gegenseitige Induction der beiden Pole wächst mit der Annäherung derselben. Es ist am natürlichsten anzunehmen, dass auch diese secundären Inductionswirkungen, wie es die ursprüngliche ist, der jedesmaligen Stromstärke annäherungsweise proportional seien, und dass demnach, an welcher Stelle des Elekromagneten wir die Erregung nehmen mögen, diese mit dem Strom in gleichem Verhältnisse wachse, und wir also die Grösse dieser Erregung aus der Anziehung ableiten können, die der Elektromagnet auf ein Massentheilchen in einer festen, sonst aber ganz beliebigen Lage gegen denselben ausübt. Statt des einzelnen Massentheilchens nehmen wir eine Substanz, die den inneren Raum unseres Fläschchens ausfüllt, welches, aufstehend, jeden der beiden in fester Entfernung gehaltenen Halbanker in einem einzelnen Punkte berührt. Wir machen hier nothwendig einen neuen Fehler (vgl. 12), und wenn wir ein Fläschchen mit einem ähnlichen von verschiedener Form und verschiedenem Volumen, aber gefüllt mit derselben Substanz, vertauschen, so ist die Zunahme der Anziehung bei wachsender Stromstärke eine andere. Doch geben die Beobachtungen diese Aenderung in der Zunahme so klein, dass auch jener Fehler nicht sehr bedeutend sein kann.

30) Wir wollen die Stromstärke eines Grove'schen Elementes, das durch den langen Kupferdraht, der das Hufeisen umwindet, geschlossen ist, als Einheit nehmen. Dann giebt die Gleichung (6) für den bei dieser Stromstärke in dem Eisen inducirten Magnetismus

$$\frac{1}{K} = \text{arc tang}\left(\frac{1}{C}\right). \tag{7}$$

Nach dem Vorstehenden messen wir denselben durch diejenige Kraft,

die er auf das auf den beiden Halbankern aufstehende Fläschchen ausübt. Diese Kraft nehmen wir als Einheit und in derselben Einheit müssen wir alsdann M in der allgemeinen Gleichung (6) ausdrücken.

Wir können diese Gleichung und die vorstehende auch unter folgende Form bringen

$$\frac{S}{C} = \text{tang}\left(\frac{M}{K}\right), \tag{8}$$

$$\frac{1}{C} = \text{tang}\left(\frac{1}{K}\right); \tag{9}$$

mithin kommt

$$S \,\text{tang}\left(\frac{1}{K}\right) = \text{tang}\, M\left(\frac{1}{K}\right)$$

und, wenn wir zu Logarithmen übergehen,

$$\log \text{tang}\left(\frac{1}{K}\right) + \log S = \log \text{tang}\, M\left(\frac{1}{K}\right). \tag{10}$$

Wir können leicht durch Hülfe der Tafeln einen Bogen finden, dessen Tangentenlogarithmus um die Grösse $\log S$ wächst, wenn er selbst den M-fachen Werth erhält. Dieser Bogen ist dann die Constante $\left(\frac{1}{K}\right)$, wonach die Gleichung (9) sogleich die zweite Constante $\frac{1}{C}$ giebt.

Stromstärke und inducirter Magnetismus sind hier, in Gemässheit der Bestimmung der beiderseitigen Einheiten, beide zugleich Eins. Kennen wir ausserdem noch irgend zwei zusammengehörige Werthe von M und S, so ist die Bestimmung der beiden Constanten der allgemeinen Gleichung (6) vollständig.

31) Nach diesen vorläufigen Erörterungen wenden wir uns zu unserer eigentlichen Aufgabe zurück: zur Bestimmung des in einem beliebigen Körper durch unseren starken Elektromagneten hervorgerufenen Magnetismus.

An der Stelle der Gleichungen (4) und (5) treten nun die folgenden

$$\frac{J}{k} = \text{arc tang}\left(\frac{M}{c}\right), \tag{11}$$

$$\frac{A}{\varkappa k M} = \text{arc tang}\left(\frac{M}{c}\right), \tag{12}$$

welche wir auch folgendergestalt schreiben können:

$$\frac{M}{c} = \text{tang}\,\frac{J}{K}, \tag{13}$$

$$\frac{M}{c} = \text{tang}\,\frac{A}{\varkappa k M}. \tag{14}$$

In dieser letzten Gleichung sei A in Grammen ausgedrückt, und bei der Anwendung eines Grove'schen Elementes, also für $M = 1$, $\frac{A}{\varkappa}$

ebenfalls der Einheit gleich.[3]) $\varkappa$ ist also dieselbe Anziehung in Grammen ausgedrückt.

Dann kommt

$$\frac{1}{c} = \text{tang} \frac{1}{k} \tag{15}$$

und, wenn wir überhaupt $\frac{A}{\varkappa} = P$ setzen,

$$\frac{M}{c} = \text{tang} \left(\frac{P}{M}\right) \left(\frac{1}{k}\right). \tag{16}$$

Analog wie oben bestimmt sich also auch hier, wenn wir ausser der Einheit noch irgend zwei sich entsprechende Werthe von M und P kennen, durch die logarithmische Gleichung:

$$\log \text{tang} \left(\frac{1}{k}\right) + \log M = \log \text{tang} \left(\frac{P}{M}\right) \left(\frac{1}{k}\right) \tag{17}$$

die Constante k, und dann durch die Gleichung (15) die andere Constante c.

Die Gleichungen (11) und (13) sind dann vollkommen bestimmt; wir können sie auch unter den folgenden Formen schreiben:

$$J = \frac{\text{arc tang} \left(\frac{M}{c}\right)}{\text{arc tang} \left(\frac{1}{c}\right)}, \tag{18}$$

$$M = \frac{\text{tang} \left(\frac{J}{k}\right)}{\text{tang} \left(\frac{1}{k}\right)}. \tag{19}$$

32) Nach den vorstehenden Erörterungen giebt es für jede Substanz einen *Sättigungspunkt für Magnetismus.* Denn der grösste Werth J_m, den J überhaupt annehmen kann, $M = \infty$ entsprechend, ist

$$J_m = \frac{k\pi}{2} = \frac{\pi}{2\sqrt{3\mu}},$$

wonach

$$\mu = \frac{\pi^2}{12 J_m^2}.$$

Die *Widerstandsconstante* μ (21) bestimmt sich also lediglich durch den Sättigungspunkt, und dieser durch jene.

33) Durch Differentiation der Gleichung (11) ergiebt sich

$$\frac{dJ}{dM} = \frac{k}{c} \frac{c^2}{c^2 + M^2} = \frac{k}{c} \cos^2 \frac{J}{k},$$

und wenn wir insbesondere M und demnach auch J gleich Null setzen,

$$\frac{dJ}{dM} = \frac{k}{c} = \lambda.$$

34) Der Begriff des *specifischen Magnetismus* einer Substanz hat

nach dem Vorstehenden keine Bedeutung mehr, sobald wir nicht von einer constanten, ein für alle Mal gegebenen inducirenden Kraft ausgehen. Er schwankt (9), wenn diese Kraft von 0 bis ∞ wächst, und wir k, λ, μ auf die jedesmalige Substanz, k', λ', μ' auf die zur Vergleichung genommene beziehen und den specifischen Magnetismus bei der Einheit der inducirenden Kraft σ nennen[1]), zwischen den Grenzen:

$$\frac{\lambda}{\lambda'}\sigma \quad \text{und} \quad \frac{k}{k'}\sigma = \sqrt{\frac{\mu'}{\mu}}\cdot\sigma.$$

§ 2.

Beobachtungen und numerische Resultate.

35) Da kein Mittel vorlag, die Kraft des Elektromagneten bei steigender Erregung zu messen, so war die Nothwendigkeit gegeben, zur Vergleichung der Stromstärke, welche zu dieser Erregung angewandt wurde, zurückzugehen. Aber auch dieses durch directe Messungen zu thun, habe ich für unsere Zwecke nicht für angemessen gehalten, um so weniger bei der grossen Stärke des Stromes. Denn um zu erkennen, ob bei einer gegebenen Anzahl von stromerregenden Elementen die magnetische Kraft dieselbe geblieben, ist die Bestimmung der Anziehung, welche auf ein und dasselbe mit einer unveränderlichen Substanz ein für alle Mal gefüllte Gefäss ausgeübt wird, nicht nur viel genauer, sondern es tritt auch noch der Umstand hinzu, dass die Art, wie die Anker auf den Elektromagneten aufgelegt werden, einen eben so bedeutenden Einfluss auf die Grösse der wirksamen magnetischen Kraft ausübt, als die Stromstärke selbst, und von dieser unabhängig ist. Anfänglich habe ich die Stromerregung wachsen lassen durch Vermehrung der zu einer Kette verbundenen einzelnen Grove'schen Elemente. Dieses fordert die Bestimmung von Widerstands-Constanten, um nach dem Ohm'schen Gesetze ohne weitere Messungen die Stromstärke der unter einander gleichen, zu einer Kette verbundenen Elemente bestimmen zu können. Da wir indess hier nur eines einfachen, doppelten, dreifachen, vierfachen Stromes bedürfen, so können wir mit Umgehung jeder Constantenbestimmung nach dem Ohm'schen Gesetze dieses einfach dadurch erreichen, dass wir einmal ein einziges Element, dann vier Elemente paarweise zu einer zweielementigen Kette, neun zu drei und drei zu einer dreielementigen, sechszehn zu vier und vier zu einer vierelementigen Kette verbinden.

36) Die Tröge wurden immer auf dieselbe Weise behandelt. Bei allen nachstehend mitzutheilenden Beobachtungen wurde frische käufliche Salpetersäure angewandt, und die Schwefelsäure mit dem zwölf-

fachen ihres Volumens Wasser verdünnt. Die porösen Thongefässe (ich fand die Berliner allen anderen vorzuziehen) wurden nach dem Gebrauche einige Stunden in Wasser gelegt und dann ein paar Tage an der Luft getrocknet. Die Salpetersäure wurde zuerst in die Gefässe gegossen, und diese wurden erst dann, wenn sie von derselben durchzogen waren, in die verdünnte Schwefelsäure gebracht.

Die Tröge wurden durchgehends zuerst zu der stärksten Kette verbunden und dann erst in schwächeren Ketten und einzeln zur Stromerregung angewendet.

Auf diese Weise gab an verschiedenen Tagen ein einzelnes Element und dieselbe Kettenverbindung so übereinstimmende Resultate, dass die Abweichungen mehr vielleicht auf zufällige, nicht *ganz* zu vermeidende Fehler (namentlich auf das verschiedene Aufliegen des Glases auf den einander genäherten Halbankern, wenn dieses nicht die Kugelform hatte und, mit stark magnetischen Substanzen gefüllt, durch diese gerichtet wurde) kommen, als auf die verschiedene Erregung. Dadurch ist es uns zugleich gestattet, aus Versuchen, die zu verschiedener Zeit angestellt wurden, ein Mittel zu nehmen.

37) Der Raum gestattet nicht, die grosse Anzahl der vorliegenden Beobachtungen vollständig mitzutheilen. Selbst die auf den vorliegenden Gegenstand unmittelbar bezüglichen sind noch zu zahlreich, als dass sie hier sämmtlich und in dem Zusammenhange, in welchem sie gemacht wurden, mitgetheilt werden könnten. Nur um ein Urtheil über die Beobachtungsmethode möglich zu machen, theile ich hier beispielsweise zwei vollständige Beobachtungsreihen, jedoch ohne alle Reductionen, mit.

Erste Beobachtungsreihe.

Viermal vier Tröge.

1) Fläschchen I. mit dem Normal-Eisenoxyd gefüllt, reisst ab bei einer Belastung von . . . . 14,62 gr.
2) Fläschchen II. mit Nickeloxyd bei . . . . 17,18 „
3) Anziehung des leeren Fläschchens II.*) . . . . . . 0,013 „
4) Fläschchen II. mit Wismuthpulver gefüllt im Gleichgewicht bei einer Belastung von . . . . 56,556 „
5) Geht ab von den Polen bei . . . . 55,32 „
6) Normalfläschchen . . . . 14,66 „
7) Fläschchen II. mit Wismuth . . . . 55,33 „

*) Diese Anziehung war bereits früher bei einfacher, doppelter und dreifacher Stromstärke gemessen worden.

Dreimal drei Tröge.

8) Dasselbe Fläschchen II. . . . . 55,63 gr.
9) Normalfläschchen . . . . 13,72 „
10) Fläschchen II. mit Wismuth . . . . 55 „
11) Normalfläschchen . . . . 13,82 „
12) Fläschchen mit Wismuth . . . . 55,63 „

Zweimal zwei Tröge genommen von den übrigen sieben.

13) Dasselbe Fläschchen . . . . 56,07 gr.
14) Normalfläschchen . . . . 12,05 „
15) Fläschchen mit Wismuth . . . . 56,07 „
16) Normalfläschchen . . . . 12,06 „

Einzelne Tröge (die drei übrigen gaben fast ganz übereinstimmende Werthe).

17) Normalfläschchen . . . . 10,65 gr.
18) Fläschchen mit Wismuth . . . . 56,42 „

Die früheren dreimal drei Tröge.

19) Dasselbe Fläschchen . . . . 55,64 gr.
20) Normalfläschchen . . . . 13,74 „

Alle 16 Tröge als Kette.

21) Dasselbe Fläschchen . . . . 16,05 gr.
22) Fläschchen mit Wismuth . . . . 54,92 „

Zweite Versuchsreihe.

38) Das Fläschchen II. war mit Phosphor gefüllt. Die drei anderen Fläschchen III., IV., V. enthielten eine Mischung von Schmalz und Wachs, mit der in vorher bestimmtem Verhältnisse (nahe 0,6 Proc.) Eisen, Kobalt, Nickel in Form von feinstem Pulver gleichmässig verrieben worden war. Die Zahlen der folgenden Tabelle geben die auf einander folgenden Bestimmungen der Belastungen, bei welchen II. anfängt sich von den Polen zu lösen, und III., IV., V. abgezogen werden.

Gewicht des Gläschens mit Phosphor: 16,5432 gr.

	Stromstärke 1	2	3	4	Kette von 16 Elementen
Phosphor				16,322	
Nickel				15,68	
Kobalt				27,29	
Eisen				28,85	
„			25,06		
„		19,15			
„	12,95 13,10 12,96				
Kobalt			23,65		
„		18,50			
„	12,40 12,41 12,33				
Nickel			14,55		
„		12,72			
„	10,49 10,52 10,47				
Phosphor			16,386		
„		16,461			
„	16,521 16,520 16,521				
„					16,294
Nickel					16,83
Kobalt					30,70
Eisen					33,45

39) Wir wenden uns nun zu einer Zusammenstellung der gewonnenen Resultate.[5])

1. Eisenoxyd Fe_2O_3.

Dieses Oxyd, chemisch rein von Dr. C. Stammer dargestellt, ist dasselbe, dessen ich mich früher als Vergleichungspunktes bei der Bestimmung des specifischen Magnetismus des Sauerstoffgases bedient habe. Das mit eingeschliffenen hohlen Glasstöpseln versehene Fläschchen I. bleibt mit demselben fortwährend gefüllt und dient als „Normalfläschchen" zur Vergleichung der Kraft des Elektromagneten.

a. Normalfläschchen.

40) Tarirgewicht des leeren Fläschchens . . . . 2,0325 gr.
Anziehung desselben bei einer Kette von sechs Elementen . . . . 0,014 „
Tarirgewicht des gefüllten Fläschchens . . . . . 9,937 „
Das Gewicht des Oxyds findet sich hiernach . . . . 7,904 „

Die Anziehung des leeren Fläschchens kann hier vernachlässigt werden, um so mehr als sie grösstentheils auf die Luft kommt, welche von dem Oxydpulver verdrängt wird.

Wir stellen in der folgenden Tabelle die verschiedenen Beobachtungsreihen entnommenen Gewichte zusammen, bei welchen das Normalfläschchen von den Polen abgezogen wurde.

Stromstärke 1	2	3	4	Kette von 16 Elementen
gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
10,59 10,61	12,03 12,01	13,48		
10,61	11,99	13,44 13,45		
10,58	11,93 11,94	13,43 13,46		
10,62	12,17 12,19	13,64		
10,62	12,11 12,11	13,61		
10,63	12,06 12,05	13,62 13,57	14,65 14,63	15,85
10,65	12,05 12,06	13,72 13,74	14,62 14,66	16,05
10,635	12,11	13,63		
10,60	12,10	13,60		
10,59	12,10			
10,59	12,04			
10,63	12,10	13,70	14,68	
Mittlere Werthe:				
10,611	12,062	13,612	14,648	15,950

Ziehen wir von diesen Werthen 9,937 gr. ab, so kommt für die magnetische Anziehung des Oxyds

0,674	2,125	3,675	4,711	6,013

Die Gewichte, die der einfachen Stromstärke entsprechen, sind Mittelwerthe wenig von einander abweichender Beobachtungen, bei

denen nach einander 3—9 verschiedene, aber gleich gebrauchte Tröge angewandt wurden. Ein Blick auf die vorstehenden Zahlen scheint zu zeigen, dass diese Gewichte, welche verhältnissmässig von einem Tage zum anderen mehr von einander abweichen, als bei stärkerer Stromstärke, dann grösser sind, wenn der angewandte Trog bereits einer stärkeren Kette angehört hat. Im Allgemeinen scheinen *alle* Anziehungen etwas zugenommen zu haben, was wahrscheinlich in einer grösseren Zusammendrückung des sehr feinen Oxydpulvers in Folge der fortwährenden Erschütterungen seinen Grund hat.

Die vorstehenden Anziehungen des Eisenoxyds geben die folgenden Verhältnisszahlen:

1 : 3,15 : 5,45 : 6,99: . . . . . .: 8,94
1 : 1,73*: 2,22
1 : 1,28*.

b. Fläschchen II.

41) Tarirgewicht des leeren Fläschchens . . . . 1,884 gr.
Anziehung desselben bei einer Kette von sechs Elementen 0,010 „
Tarirgewicht des mit Oxyd gefüllten Fläschchens . . 10,824 „
Die Anziehung des leeren Fläschchens ist hiernach zu vernachlässigen. Das Eisenoxyd wiegt . . . . . 8,940 „

Stromstärke		
1	2	3
gr.	gr.	gr.
11,565	13,03	{14,76 14,71
{11,52 11,51	{13,02 13,00	14,52
11,53	{13,01 13,00 12,99 13,00	{14,57 14,58

Mittelwerthe:

11,528	13,007	14,628

Magnetische Anziehung des Oxyds:

0,704	2,183	3,804

Daraus leiten sich für die Anziehungen bei den verschiedenen Stromstärken folgende Verhältnisszahlen ab:

1 : 3,10 : 5,40
1 : 1,74*.

Der Unterschied zwischen diesen Verhältnisszahlen und den früheren ist so klein, dass er als innerhalb der Beobachtungsfehler fallend anzusehen ist.

42) 2. Nickeloxyd [NiO],

von Herrn C. Stammer rein dargestellt, wurde in das Fläschchen II. bis zu der Marke des engeren Halses eingefüllt.

Tarirgewicht für das gefüllte Fläschchen . . . . 14,296 gr.
und hiernach Gewicht des Oxyds . . . . 12,412 „

Die folgende Tabelle giebt die zum Abziehen erforderlichen Gewichte.

Stromstärke 1	2	3	4	Kette von 16 Elementen
gr.	gr	gr.	gr.	gr.
14,67	15,60	16,56		
14,67	15,59			
14,67				
14,67				
14,66	15,54	16,64	17,23	18,05
14,655	15,53	16,57	17,26	
			17,18	
Mittelwerthe:				
14,666	15,565	16,590	17,223	18,050

Hieraus ergiebt sich für die magnetische Anziehung des Nickeloxyds

0,370	1,269	2,294	2,927	3,754

und daraus folgen die nachstehenden Verhältnisszahlen:

1 : 3,43 : 6,20 : 7,92* 10,15
1 : 1,81 : 2,30
1 : 1,27.

3. Kobaltoxyd-Hydrat.*)

43) Das chemisch reine Hydrat hatte Dr. Bödeker die Güte für mich darzustellen, dasselbe wurde bei einer Temperatur, welche 100° C.

*) Die Bestimmung der Kobaltoxyde, die in magnetischer Hinsicht Analogien mit den Eisenoxyden darbieten, bleibt einer späteren Mittheilung vorbehalten. Ich habe das Hydrat nur darum hier aufgeführt, weil es ungeachtet seines stärkern specifischen Magnetismus, dennoch einen geringern magnetischen Widerstand zeigt, als alle übrigen hier aufgeführten und noch aufzuführenden magnetischen oder diamagnetischen Substanzen.

nicht viel überstieg, im Sandbade getrocknet und dann zu möglichst feinem Pulver zerrieben, in das Fläschchen II. gefüllt.

Tarirgewicht für das gefüllte Fläschchen . . . . 8,335 gr.
mithin Gewicht der Füllung . . . . 6,451 „

Die folgende Tabelle giebt die zum Abziehen des Fläschchens von den Polen erforderlichen Gewichte:

Stromstärke 1	2	3	4	Kette von 16 Elementen
gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
9,82	13,90	19,52		
{9,80 9,77	14,03	19,62	23,28	28,21
Mittelwerthe:				
9,797	13,965	19,57	23,28	28,21

Hieraus ergiebt sich für die magnetische Anziehung des Kobaltoxydhydrats:

1,46	5,63	11,24*	14,95*	19,88*

und daraus leiten sich die nachstehenden Verhältnisszahlen ab:

1 : 3,85 : 7,70*: 10,24*: . . . . . .: 13,61*
1 : 2,00*: 2,66*
1 : 1,33*.

4. Wismuth.

44) Das Wismuth nahm ich von jenen ausgezeichnet schönen Krystallen, die in Paris (rue de l'Ecole de médecine) durch oft wiederholte Umkrystallisirung vermittelst Schmelzung erhalten und von da aus vielfach verbreitet worden sind. Die Krystalle wurden möglichst fein gepulvert, in das Fläschchen II. bis zur bestimmten Marke eingefüllt und dieses dann mit dem eingeschliffenen hohlen Glasstöpsel verschlossen.

Tarirgewicht für das Fläschchen vor der Füllung . . . 1,884 gr.
für das gefüllte Fläschchen . . . . 56,556 „
mithin Gewicht des Wismuths . . . . 54,672 „

Die folgende Tabelle giebt die Gewichte, bei welchen das auf den Polen aufliegende Fläschchen anfing, sich von denselben zu entfernen. Die Resultate zweier Beobachtungsreihen, die an zwei auf einander folgenden Tagen gemacht wurden, waren:

Stromstärke 1	2	3	4	Kette von 16 Elementen
gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
56,42	56,07 56,07	55,63 55 63	55,32 55,33	54,92
56,425	56,075 56,07	55,625 55,635		
Mittelwerthe:				
56,422	56,071	55,630	55,325	54,920

Hieraus findet sich die diamagnetische Abstossung des Wismuths

0,134	0,485	0,926	1,231	1,636

und daraus erhalten wir die nachstehenden Verhältnisszahlen:

1 : 3,62 : 6,91 : 9,19 . . . . . . : 12,21

1 : 1,91 : 2,54*

1 : 1,33*.

Am zweiten Tage war das Gewicht des Wismuths unverändert gefunden worden. Da genaue Zahlen mir gerade in diesem Falle sehr wünschenswerth erschienen, so wurden nach einem Zwischenraum von ein paar Tagen den beiden obigen Beobachtungen noch sechs hinzugefügt. Die Resultate erwiesen sich aber unbrauchbar, weil das Fläschchen mit Wismuth nicht jedesmal vor Bestimmung der diamagnetischen Abstossung desselben von Neuem tarirt worden war. Das Versehen wurde erst entdeckt, als, 10 Tage nach der Füllung, das Gewicht des Wismuths bereits um 0,048 gr. zugenommen hatte. Dasselbe hatte angefangen, durch langsam eindringende Luft sich zu oxydiren. So wie die ursprünglichen Krystalle mit einer dünnen, die schönsten Farben zeigenden Oxydschicht überzogen waren, so hatten auch die im oberen Raume des Fläschchens befindlichen feinen Wismuththeilchen ihr Ansehen durch eine Oxydation ihrer Oberfläche geändert.

5. Phosphor.

45) Der Phosphor wurde unter Wasser geschmolzen und soviel desselben unter Wasser in das Gefäss II. gegossen, bis er etwa einen Millimeter unterhalb der festen Marke am engeren Halse desselben stand. Ueber demselben befand sich Wasser bis etwa ein Millimeter oberhalb der Marke, so dass das Gewicht der Füllung sehr nahe dem Gewichte des Phosphors, wenn er bis zur Marke reichen würde, gleich war. Da der Stöpsel nicht vollkommen schloss, so wurde das Fläsch-

chen vor jeder Bestimmung tarirt. In der nachstehenden Tabelle ist das Tarirgewicht zugleich mit dem Gewichte, bei welchem das Fläschchen die Pole verlässt, aufgeführt.

Tarirgewicht	Stromstärke 1	Stromstärke 2	Stromstärke 3	Stromstärke 4	Kette von 16 Elementen
gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
16,581	16,557	16,490	16,418		
16,580	16,5561	16,490	16,417		
16,5435	16,5206	16,461	16,386	16,322	16,244
	Diamagnetische Abstossungen:				
	0,024	0,091	0,163		
	0,024	0,090	0,163		
	0,023	0,0825	0,157	0,2215	0,2995
	Mittelwerthe:				
	0,024	0,088	0,1610	0,2215	0,2995

Hieraus leiten sich die nachstehenden Verhältnisszahlen ab:

1 : 3,67 : 6,73 : 9,23: . . . . . .: 12,49

1 : 1,84 : 2,52

1 : 1,37.

Das Gewicht des Phosphors ergiebt sich mit hinlänglicher Annäherung:

14,68 gr.

Eisen, Kobalt, Nickel.

46) Für die stark magnetischen Metalle, die in feinstem Pulver mit einer Mischung von Schmalz und Wachs verrieben wurden, waren drei etwas stärkere Fläschchen III., IV. und V. bestimmt, mit kürzerem und weiterem Halse. Sie wurden sorgfältig gefüllt, am folgenden Tage, nachdem die Mischung sich zusammengezogen hatte, nachgefüllt und abgestrichen. Die Bestimmung der drei leeren Fläschchen ergab:

	Tarirgewicht	Anziehung bei der Stromstärke 1	2	3
	gr.	gr.	gr.	gr.
III.	3,591	0,028	0,1005	0,169
IV.	2,247	0,019	0,067	0,113
V.	3,167	0,029	0,100	0,1525

Diese Anziehungen heben sich zum grössten Theil auf, wenn die Fläschchen mit der Schmalz- und Wachsmischung ohne Metall gefüllt werden. Wir begehen keinen merklichen Fehler, wenn wir die beobachteten Anziehungen ganz auf das zu untersuchende Metall rechnen.

6. Eisen.

47) Das Eisen war aus dem Normaloxyde (1) durch Wasserstoffgas in der anfangenden Rothglühhitze reducirt und in einer zugeschmolzenen Glasröhre aufbewahrt worden.

Es wurden innigst gemengt

Schmalzmischung . . . . 24,97 gr.
Eisenpulver . . . . 0,1450 „
so dass im Gemenge sich

0,5773

Proc. Eisen befand.

Fläschchen III.

Tarirgewicht für das gefüllte Fläschchen . . . . 9,429 gr.
also Gewicht der Füllung . . . . 5,838 „
und des darin enthaltenen Eisens . . . . 0,0337* „

Das Fläschchen wurde von den Polen abgezogen durch die folgenden Gewichte:

Stromstärke				Kette von 16 Elementen
1	2	3	4	
gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
12,96	19,38	24,99		
13,00	19,15	25,06	28,85	33,45
12,97	19,14	24,98		
Mittelwerthe:				
12,98	19,22	25,01	28,85	33,45

Hieraus ergiebt sich die magnetische Anziehung des Eisens

3,55	9,79	15,58	19,42	24,02

und daraus leiten sich die folgenden Verhältnisse ab:

1 : 2,76 : 4,39 : 5,47* . . . . . : 6,77
1 : 1,59 : 1,98* . . . . .
1 : 1,25*.

7. Kobalt.

48) Ein Theil der grösseren Menge reinen Kobaltoxydhydrats wurde geglüht und dann in einer Röhre von schwerflüssigem Glase,

wie das Eisen, nur unter stärkerer Erhitzung vermittelst des Blasetisches, durch Wasserstoffgas reducirt. In diesem Glase erkaltet, wurde es in einem Achatmörser möglichst fein gepulvert und dann mit der Schmalzmischung verrieben.

Schmalzmischung . . . . 25,00 gr.
Kobaltpulver . . . . 0,1435 „

so dass das Gemenge

0,5707

Proc. Kobalt enthielt.

a. Fläschchen IV.

Tarirgewicht für das gefüllte Fläschchen . . . . 8,690 gr.
also Gewicht der Füllung . . . . 6,443* „
und des darin enthaltenen Kobalts . . . . 0,03679* „

Die Abziehung des Fläschchens erfolgte bei den nachgenannten Gewichten.

Stromstärke 1	2	3	4	Kette von 16 Elementen
gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
12,48				
12,40				
12,53				
12,41				
12,42				
Mittel 12,44	18,62	23,95		
12,38	18,50	23,65	27,29	30,70
12,30	18,15	23,35		
Magnetische Anziehung des Kobalts:				
3,75	9,93	15,26		
3,69	9,81	14,96	18,60	22,01
3,61	9,46	14,66		
Mittelwerthe:				
3,68	9,73	14,96	18,60	22,01

woraus sich die nachstehenden Verhältnisszahlen ergeben:

1 : 2,65 : 4,07* : 5,05 : 5,98
1 : 1,54 : 1,91*
1 : 1,24.

Die beiden ersten Beobachtungen wurden an zwei auf einander folgen-

den Tagen angestellt, die dritte fiel ein paar Tage später. Die magnetischen Anziehungen zeigen unzweideutig, dass das Kobalt chemisch nicht ganz unverändert geblieben ist. Darum haben wir diese Anziehung für jede Beobachtung einzeln genommen; wenn sichs um die absolute Anziehung des Kobalts handelt, werden wir die erste Beobachtung zu Grunde legen. Die chemische Veränderung des Kobalts ist aber so gering, dass wir die Verhältnisszahlen aus der mittleren Anziehung ableiten zu dürfen geglaubt haben.

b. Fläschchen III.

.49) Dasselbe Kobaltgemenge.

Tarirgewicht für das gefüllte Fläschchen . . . . 9,510 gr.
also Gewicht der Füllung . . . . 5,919 „

	Stromstärke		
	1	2	3
	gr.	gr.	gr.
Anziehung	3,59	9,47	14,89

Hieraus ergeben sich die folgenden, den früheren gut entsprechenden Verhältnisszahlen:

1 : 2,64 : 4,01.

8. Nickel.

50) Das Metall ist durch Herrn Dr. C. Stammer aus dem chemisch reinen oxalsauren Salze dargestellt worden.

Schmalzmischung . . . . 24,98 gr.
Nickelpulver . . . . 0,1564 „

so dass in dem Gemenge sich

0,6222

Proc. Nickel befindet.

a. Fläschchen V.

Tarirgewicht für das gefüllte Fläschchen . . . . . . 8,893 gr.
mithin Gewicht der Füllung . . . . 5,726 „
und des in derselben enthaltenen Nickels . . . . . . 0,03575 „

Das Fläschchen wurde von den Polen durch die nachstehenden Gewichte abgezogen.

Stromstärke 1	2	3	4	Kette von 16 Elementen
gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
10,52 10,51 10,52 10,52 10,54	12,88	14,58		
10,49 10,52 10,47	12,72	14,55	15,68	16,83
Mittelwerthe:				
10,511	12,775	14,565	15,68	16,83

Die resultirenden Anziehungen sind

1,62	3,88	5,67	6,79	7,94

was die folgenden Verhältnisszahlen giebt:

1 : 2,40 : 3,50 : 4,19: 4,90
1 : 1,46*: 1,75
1 : 1,20.*

b. Fläschchen III.

51) Dasselbe Nickelgemenge.

Tarirgewicht für das gefüllte Fläschchen . . . . 9,584 gr.
also Gewicht der Füllung . . . . 5,993 „

	Stromstärke 1	2	3
	gr.	gr.	gr.
Anziehung	1,83	4,24	6,21

woraus sich folgende Verhältnisszahlen ergeben:

1 : 2,32*: 3,39.

9. Sauerstoffgas.

52) Zu diesen Bestimmungen diente dieselbe Kugel mit Glashähnchen, die ich früher schon bei meinen Versuchen über das magnetische Verhalten der Gase angewendet habe. Das Sauerstoffgas wurde in gleicher Weise entwickelt und, nachdem die Kugel mit diesem Gase zuvor ausgewaschen, in dieselbe hineingebracht und zwar um etwa $^1/_{10}$ Atmosphärendruck comprimirt, um sicher zu sein, dass keine Luft

eindringen, sondern höchstens etwas Sauerstoffgas entweichen könnte. Dass letzteres keineswegs stattfand, bewiesen die Abwägungen.

Tarirgewicht für die leere Kugel . . . . 2,8353 gr.
für die gefüllte Kugel . . . . 2,9026 „
mithin Gewicht des Sauerstoffgases . . . . 0,0673 „

Die *leere* Kugel zeigte keinen bestimmbaren Magnetismus. Die zum Abziehen der Sauerstoffkugel erforderlichen Gewichte, die sich genau und mit der grössten Sicherheit durch Hilfe des 0,01 gr. schweren Reiters bestimmen liessen, waren die folgenden:

Stromstärke				Kette von 16 Elementen
1	2	3	4	
gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
2,9051	2,9113	2,9195		
2,9051 2,9049 2,9048 2,9050	2,9115	2,9201	2,9260	2,9331
Mittelwerthe:				
2,9050	2,9114	2,9198	2,9260	2,9331

Hieraus ergiebt sich für die magnetische Anziehung des Sauerstoffgases

0,0024	0,0089	0,0172	0,0234	0,0305

was zu den folgenden Verhältnisszahlen führt:

1 : 3,71 : 7,16*: 9,75: 12,71
1 : 1,95*: 2,64*
1 : 1,36.

§ 3.

Discussion der erhaltenen Resultate und allgemeine Folgerungen.

53) Die numerischen Resultate, die wir im vorigen Paragraphen mitgetheilt haben, lassen sich übersichtlich durch Curven darstellen. Diese Curven sind unmittelbarer Ausdruck der Beobachtung, unabhängig von jeder Hypothese und jeder theoretischen Auffassung.

Die Ordinaten der Punkte dieser Curven geben die Anziehung, welche die untersuchten Substanzen durch den Elektromagneten erleiden, die Abscissen derselben die entsprechende Stromstärke, welche zur Erregung des Elektromagneten angewendet worden ist. Als Einheit der Stromstärke nehmen wir die Stromstärke eines unserer Grove'-

schen Elemente, wenn dasselbe durch den langen und dicken Draht, welcher um den Eisenkern unseres Elektromagneten gewickelt ist, geschlossen wird; als Einheit der Anziehung für *jede* der verschiedenen von uns untersuchten Substanzen diejenige, welche bei der Einheit der Stromstärke, also bei Anwendung eines Grove'schen Elementes stattfindet. Die Einheit der Anziehung ist also für verschiedene Substanzen eine verschiedene.

54) Hiernach gehen alle Curven durch den Anfangspunkt der Coordinaten, O, weil Stromstärke und Anziehung gleichzeitig verschwinden, und durch einen zweiten Punkt, M, welcher den Einheiten der Stromstärke und der Anziehung entspricht. Ausserdem geben unsere Beobachtungen unmittelbar noch drei andere Punkte jeder einzelnen Curve, welche der doppelten, dreifachen und vierfachen Stromstärke entsprechen. Endlich ist noch ein letzter, entfernter liegender Punkt jeder Curve, welcher der Anwendung einer Kette von 16 einzelnen Grove'schen Elementen entspricht, bestimmt worden. Um jedoch diesen Punkt construiren zu können, müssen wir zuvor die Stromstärke einer solchen durch denselben Leitungsdraht geschlossenen Kette in der von uns angenommenen Einheit ausdrücken.

55) Es ist hierbei unerlässlich, das Verhältniss des Widerstandes in dem Schliessungsdrahte zu dem Widerstande in unseren Grove'schen Elementen zu kennen. Zu diesem Ende schalte ich hier die Beobachtung ein, welche den im vorigen Paragraphen mitgetheilten Beobachtungen unmittelbar vorherging, und durch welche, unter genau denselben Umständen wie später, die Anziehung des mit dem Eisenoxyde gefüllten Normalfläschchens bestimmt wurde, wenn nacheinander der Strom durch eine Kette von sechs Elementen, durch eine Kette von drei derselben, durch eine Kette von zwei der übrigen, und endlich durch das letzte Element allein hervorgerufen wurde. Diese Anziehungen betrugen in umgekehrter Aufeinanderfolge

0,663 gr., 1,913 gr., 3,113 gr., 4,913 gr.,

also, auf unsere Einheit bezogen,

1,00 2,88 4,69 7,41.

Wenn wir diese Werthe als Ordinaten der Curve für Eisenoxyd [Taf. II, Fig. 1, Curve IV] betrachten, so finden wir aus der Construction für die durch die entsprechenden Abscissen dargestellten Stromstärken

1 1,85 2,65 4,35.

Nach dem Ohm'schen Gesetze sind diese Stromstärken in unserer Einheit ausgedrückt durch

$$1, \quad \frac{1+\omega}{1+{}^1\!/_2\,\omega}, \quad \frac{1+\omega}{1+{}^1\!/_3\,\omega}, \quad \frac{1+\omega}{1+{}^1\!/_6\,\omega},$$

wobei ω die zu bestimmende Constante ist, welche ausdrückt, wie viel Mal der Widerstand im Schliessungsdrahte grösser ist, als in dem einzelnen Elemente. Setzen wir

$$\omega = 12,$$

so geben die letzten Ausdrücke die nachstehenden Zahlen

1 1,86 2,60 4,33,

Stromstärken, welche sämmtlich mit den aus der Construction abgeleiteten gut stimmen.

Für eine Kette von 16 Elementen giebt der so bestimmte Werth von ω die Stromstärke 7,43.

Somit können wir alle unsere Curven bis zu diesem Abscissenwerthe fortführen.*)

56) In der ersten Figur sind die Curven für *Nickel* (I), *Kobalt* (II), *Eisen* (III), *Eisenoxyd* (IV), *Nickeloxyd* (V), *Wismuth* und *Phosphor* (VI), für *Sauerstoffgas* (VII), und endlich für *Kobaltoxydhydrat* (VIII) zusammengestellt. Die Curven für Wismuth und Phosphor, die beiden einzigen von uns vollständig bestimmten diamagnetischen Substanzen, fallen so nahe zusammen, dass sie mit Rücksicht auf die unvermeidlichen Beobachtungsfehler als eine einzige construirt worden sind. Diese Curve ist in der Zeichnung von den übrigen unterschieden worden, weil ihre Ordinaten diamagnetische Abstossung statt magnetischer Anziehung bedeuten; es erschien nicht angemessen, ihnen aus diesem Grunde eine entgegengesetzte Lage zu geben.

57) Das endliche Ziel, das wir erstreben, besteht darin, dass wir die Anziehung, die eine gegebene Substanz erleidet, als Function der auf sie einwirkenden magnetischen Kraft, nicht als Function der Stromstärke, welche diese Kraft hervorruft, bestimmen. Es kommt dieses darauf hinaus, dass wir unsere Curven so umformen, dass die zu jeder Ordinate gehörige Abscisse nicht mehr wie bisher die Stromstärke, sondern die dieser Stromstärke entsprechende, auf die unter-

*) Ich habe es bei den Bestimmungen des vorigen Paragraphen für überflüssig gehalten, eine Tangentenboussole einzuschalten oder ein anderes direktes Verfahren anzuwenden, um die Constanz der Stromstärke zu constatiren. Es war vollkommen hinreichend und unserem speciellen Zwecke mehr entsprechend, die Constanz der magnetischen Kraft durch die Anziehung, welche der Elektromagnet auf das mit dem Eisenoxyde gefüllte Normalfläschchen ausübt, nachzuweisen. Die Erörterungen der 55. Nummer zeigen, dass wir auch vermittelst der Curve IV unsere Stromstärken vergleichen und messen können, und dass diese Curve für unsere Zwecke Apparate, die zum Messen der angewandten Stromstärken dienen, in jeder Hinsicht ersetzt.

suchte Substanz ausgeübte Kraft des Elektromagneten bedeutet. Als Einheit dieser magnetischen Kraft nehmen wir diejenige, welche durch ein Grove'sches Element hervorgerufen wird.

58) Hiernach würden die neuen Curven mit den alten zusammenfallen, wenn im Kerne des Elektromagneten kein Widerstand sich fände, das heisst, wenn die auf die untersuchte Substanz wirkende magnetische Kraft der Stärke des zu ihrer Hervorrufung angewandten Stromes proportional wäre. Unter derselben Voraussetzung würde, wenn es eine Substanz gäbe, welche keinen Widerstand darböte, die dieser Substanz entsprechende Curve eine Parabel sein (IX), deren Ordinaten die Quadrate der Abscissen sind. Gäbe es endlich eine Substanz, die mit Magnetismus gesättigt wäre, die immer dasselbe Maass von Magnetismus behielte, so ginge die entsprechende Curve in eine gerade Linie (X) über. In der Wirklichkeit, wo die magnetische Erregung der Stromstärke *nicht* proportional ist, verwandelt sich jene Parabel und diese gerade Linie, indem die Abscissen ihre ursprüngliche Bedeutung behalten, in zwei solche Curven (XIII und XII), welche die beiderseitigen Grenzen der Curvengruppe I bis VIII bilden.

59) Ich wende mich zunächst zu einigen geometrischen Erörterungen über diese Curvengruppe.

Wenn es sich ergäbe, dass Kobaltoxydhydrat, welches unter den bisher untersuchten Substanzen den *geringsten* magnetischen Widerstand zeigt, *gar keinen* Widerstand böte — eine Annahme, die übrigens keineswegs wahrscheinlich ist —, so müsste die Curve VIII mit der Parabel IX zusammenfallen, wenn wir von den ursprünglichen Abscissen zu den neuen übergingen, und dann wäre VIII eine der fraglichen Grenzcurven. Dann könnten wir überhaupt jede Curve, die in dem einen der beiden Systeme gegeben ist, in die entsprechende Curve des anderen Systems umformen. Wir wollen insbesondere unter der gemachten Voraussetzung die gerade Linie X in dem zweiten Systeme in die entsprechende Curve des ersten Systemes umformen. Nehmen wir zu diesem Ende irgend zwei solche Punkte Q und Q' auf der Parabel und der Curve VIII an, die gleiche Ordinaten QP und $Q'P'$ haben, so sind die zugehörigen Abscissen OP und OP' zwei einander entsprechende Abscissen in dem zweiten und ersten Systeme. Der Punkt q der geraden Linie QP, welcher auf der Linie X der Abscisse OP entspricht, giebt hiernach, indem wir eine gerade Linie parallel mit der Abscissenaxe ziehen, sogleich den Punkt q' der zu construirenden Curve, welcher der Abscisse OP' entspricht. Auf diesem Wege erhalten wir unmittelbar beliebig viele Punkte einer Curve XI, welche in der Voraussetzung, dass Kobaltoxydhydrat keinen magnetischen

Widerstand darböte, einer mit Magnetismus gesättigten Substanz angehören würde. In dieser Voraussetzung wären also VIII und XI die beiden Grenzcurven, zwischen welchen die Curve für jede neu zu untersuchende Substanz nothwendig hindurch gehen müsste.

60) Die Curve XI müsste, wenn sie wirklich die untere Grenzcurve wäre, selbst zu den Curven unserer Gruppe gehören und den allgemeinen Lauf dieser Curven haben, insbesondere keine der anderen Curven je schneiden. Diese Curve ist aber nur eine Grenze, *unter* welcher die Grenzcurve *nicht* liegen kann, diese kann nur höher liegen, sie darf aber auch über den Punkt M hinaus für wachsende Stromstärken die gerade Linie X nicht schneiden.

Von dieser Curve, die Substanzen entspricht, die mit Magnetismus gesättigt sind, können wir durch dieselbe Construction, die wir oben angewandt haben, zu der oberen Grenzcurve, der Curve keines Widerstandes, zurückgehen. Wäre XI diese Curve, so kämen wir zu der Curve VIII zurück. Es ist von vornherein klar, dass die für irgend eine Substanz gefundene Curve nie die untere Grenzcurve erreichen kann, am wenigsten, wenn die Substanz, wie Nickel, ohne ursprünglichen Magnetismus bald schon so stark magnetisch wird. Auch hält die Curve, welche der Curve für Nickel, wenn wir diese als untere Grenzcurve nehmen, als obere Grenzcurve entspricht, keineswegs den allgemeinen Lauf unserer Curvengruppe ein. Die wahre untere Grenzcurve liegt also zwischen den Curven I und XI. Nach den vorstehenden Bemerkungen werden diese Grenzen noch viel enger gezogen, und wir machen keinen grossen Fehler, wenn wir für diese Curve die Curve XII nehmen, und dann die entsprechende obere Grenzcurve, wofür wir die Curve XIII erhalten, construiren.

Diese Annahme werden wir den nachfolgenden Rechnungen zu Grunde legen und durch dieselben gerechtfertigt finden. Die Curven XII und XIII sind also unsere *wahren Grenzcurven;* sollten spätere Beobachtungen und sorgfältigere Rechnungen eine Modification dieser Curven verlangen, so müssen beide Grenzcurven zugleich höher oder tiefer rücken, die obere aber bedeutend mehr als die untere.

61) Die Curve XII, die in dem ursprünglichen Coordinatensysteme, wo die Abscissen Stromintensitäten bedeuten, die relative Zunahme der magnetischen Anziehung als Function von diesen giebt, hat noch eine zweite Bedeutung. Die Anziehung einer Substanz durch den Elektromagneten ist nämlich als das Product der magnetischen Erregung dieses letzteren und des in der Substanz hervorgerufenen Magnetismus zu betrachten. Wenn also eine Substanz mit Magnetismus gesättigt ist, so ist diese Anziehung der Intensität der magnetischen Kraft des

Elektromagneten proportional. Setzen wir demnach diejenige Intensität dieser Kraft, die der Einheit der Stromstärke entspricht, ebenfalls der Einheit gleich, so stellt die Curve XII sowohl die relative Zunahme der magnetischen Anziehung der fraglichen Substanz als auch der magnetischen Kraft des Elektromagneten als Function der Stromstärke dar.

62) Auf diesem Wege sind wir glücklicher Weise der Nothwendigkeit überhoben, irgend ein theoretisches Gesetz über die Abhängigkeit der Kraft des Elektromagneten von der angewandten Stromstärke zu Grunde zu legen. Es steht nicht zu erwarten, dass ein Gesetz dieser Art, wenn es auch für den einzelnen Fall der magnetischen Induction durch den galvanischen Strom seine volle Gültigkeit haben mag, auf unseren Elektromagneten eine unmittelbare Anwendung finde, weil die Wirkung desselben in unseren Bestimmungen hauptsächlich von den einander gegenüberstehenden und naheliegenden Stellen der auf den Polflächen liegenden Halbanker ausgeht, und zu ihrer Hervorrufung die gegenseitige Induction dieser Halbanker überwiegend beiträgt. Wir haben im ersten Paragraphen (27, 28) ein solches Gesetz aus dem allgemeinen Gesetze der magnetischen Induction abgeleitet und zugleich für unsere Anwendung die Quelle der Störungen bezeichnet.

63) Ich muss hier hervorheben, dass dieses Gesetz Herrn Prof. Müller in Freiburg gehört, der zu demselben implicite gelangte, indem er das Gesetz über die Stärke des durch den Strom in Eisenstäben von verschiedener Dicke hervorgerufenen Magnetismus aus Messungen ableitete.*) Dieses Gesetz wurde von den Herren Buff und Zaminer, welche, wie früher die Herren Lenz und Jacobi, die Proportionalität von Stromstärke und erregtem Magnetismus behaupteten, bestritten, aber von Herrn W. Weber unter den nothwendigen Beschränkungen ausser Zweifel gesetzt.**) Für mich war es eine unerwartete Bestätigung des von mir bereits erhaltenen allgemeinen Gesetzes über magnetische und diamagnetische Induction.

Herr Müller beschränkt sein Gesetz ausdrücklich auf die magnetische Erregung, hervorgebracht durch die inducirende Kraft des

*) Für uns war das Gesetz eine unmittelbar gebotene, rein theoretische Uebertragung, die ohne Kenntniss der interessanten Arbeit des Herrn Müller [Pogg. Ann., Bd. 79, S. 337 und 82, S. 181] gemacht wurde. Der erste Paragraph wurde vor längerer Zeit niedergeschrieben, nachdem zwar die Resultate des zweiten Paragraphen, aber noch nicht die vollständige Discussion derselben vorlag.

**) Weber, Elektrodynamische Maassbestimmungen, [Abh. k. sächs. Ges. d. Wiss. 1852, S. 566. W. Weber's Werke, Bd. III., S. 543—547.] Müller, Berichte über die neuesten Fortschritte der Physik. Braunschweig 1851. S. 494.

galvanischen Stromes, im Gegensatze zu der Erregung durch eine magnetische Kraft. Er sagt nämlich (Fortschritte, S. 531):

> „Lenz und Jacobi nahmen an, dass die Tragkraft der Elektromagnete dem Quadrate des erregten Magnetismus proportional sein müsse, und diese Annahme ist auch ohne allen Zweifel richtig, nur ist die Stärke des Magnetismus nicht der Stromstärke proportional, wie dies jetzt genügend dargethan ist."

64) Wir sind im Stande, die Grösse der Abweichungen, welche für die Bedingungen, unter welchen wir unsere Bestimmungen gemacht haben, das fragliche Gesetz erleidet, zu ermitteln. Unsere Curve XII zeigt, dass die magnetische Kraft, welche von dem grossen Elektromagneten ausgeht, bis zur Anwendung von zwei, ja fast von drei Grove'schen Elementen der Intensität des inducirenden Stromes sehr nahe proportional ist. Von da an gilt das Gesetz der Herren Lenz und Jacobi nicht mehr, aber, wie wir sogleich sehen werden, hört auch bald das neue Gesetz, welches wir durch die nachstehende Gleichung ausgedrückt haben,

$$\frac{M}{K} = \text{arc tang}\left(\frac{S}{C}\right),$$

auf, eine hinlängliche Genauigkeit zu geben.

Unsere empirische Curve giebt die nachstehenden einander entsprechenden Stromstärken und magnetischen Kräfte:

$$S = 0 \quad 1 \quad 2 \quad 3 \quad 4 \quad 7{,}43$$
$$M = 0 \quad 1 \quad 2 \quad 2{,}9 \quad 3{,}45 \quad 4.$$

Verfahren wir, wie in der 30. Nummer angegeben worden ist, so können wir die durch die letzte Gleichung dargestellte Curve bestimmen, indem wir sie der Bedingung unterwerfen, dass sie, ausser durch den Punkt M, noch durch einen zweiten Punkt, für welchen wir den Punkt

$$S = 3 \qquad M = 2{,}9$$

nehmen wollen, gehe.[6]) Wir finden alsdann

$$\frac{1}{C} = \text{tang}\,\frac{1}{K} = \text{tang}\,6^0\,30'$$

und hiernach für die berechneten Werthe von M

$$0 \quad 1 \quad 1{,}98 \quad 2{,}9 \quad 3{,}77 \quad 5{,}96.$$

Wir sehen hieraus, dass die wirklich hervorgerufene magnetische Kraft schon bei vierfacher Stromstärke hinter derjenigen Kraft, welche durch die Tangentialcurve angezeigt wird, merklich zurückbleibt, und dass für grössere Kräfte kaum noch von Annäherung die Rede sein kann.

Eine Aenderung der Curve XII, soweit sie nach dem Vorhergehenden etwa noch stattfinden könnte, würde hierin keinen Unterschied machen.

65) Wir sind also lediglich auf das durch die Curve XII ausgedrückte *empirische* Gesetz hingewiesen.

Nach diesem Gesetze können wir aus den Curven I—VIII der ersten Figur, welche die unmittelbaren Beobachtungen darstellen, sogleich andere Curven ableiten, *welche die beobachteten Anziehungen als Functionen der magnetischen Kraft des Elektromagneten ausdrücken.* Wir brauchen nur diejenigen Punkte, durch welche die ursprünglichen Curven bestimmt worden sind, mit solchen Punkten zu vertauschen, die ihre Ordinaten beibehalten, ihre Abcissen aber, welche Stromstärken S bedeuten, so ändern, dass sie nun die Bedeutung der entsprechenden magnetischen Intensitäten M erhalten. Auf diesem Wege finden wir die auf empirischem Wege abgeleiteten Curven der oberen Gruppe der Fig. 2, Taf. II. Alle diese Curven liegen zwischen der *Parabel*, der Grenzcurve für solche Substanzen, die der Magnetisirung keinen Widerstand entgegensetzen, und der *geraden Linie*, die auf Substanzen sich bezieht, die mit Magnetismus gesättigt sind.

66) Wenn wir endlich die Ordinaten der eben beschriebenen Curven, das heisst die beobachtete Anziehung der magnetischen oder die beobachtete Abstossung der diamagnetischen Substanzen, durch die entsprechenden Abscissen, das heisst die Kraft des Elektromagneten, dividiren, so stellen die Quotienten die Intensität des in der Substanz hervorgerufenen Magnetismus dar. Und dieses ist der Fall bei beiden genannten Klassen von Substanzen, die sich nicht in der Art ihres magnetischen Zustandes, sondern nur durch die entgegengesetzte Art von Induction, welche diesen Zustand hervorruft, unterscheiden. So erhalten wir auf empirischem Wege eine neue Gruppe von Curven (die untere Gruppe von Curven der Figur 2), welche *die Intensität des in den untersuchten Substanzen durch eine magnetische Kraft hervorgerufenen Magnetismus als Function dieser Kraft darstellen.* Diese Curven werden mit aller zu verlangenden Genauigkeit durch Gleichungen von der Form

$$\frac{J}{k} = \text{arc tang}\left(\frac{M}{c}\right)$$

ausgedrückt, wobei die Abscissen M den von dem Elektromagneten aus wirkenden, die Ordinaten J den in der Substanz inducirten Magnetismus bedeuten, und k und c zwei Constanten, die für jede einzelne Substanz besonders zu bestimmen sind.

67) Um die vorstehende Behauptung zu begründen, müssen wir die Curven für die verschiedenen Substanzen berechnen. Wir nehmen dazu ausser dem Punkte M als zweiten Punkt jeder einzelnen Curve

denjenigen, welcher der doppelten Stromstärke entspricht. Für diesen Punkt erhalten wir, wenn wir beispielsweise Eisen nehmen

$$M = 2 \qquad J = 1{,}38.$$

Demnach ist

$$\log \operatorname{tang}\left(\frac{1}{k}\right) + \log 2 = \log \operatorname{tang}\left(1{,}38 \cdot \frac{1}{k}\right),$$

woraus wir ohne Mühe durch Hülfe der Logarithmentafeln

$$\frac{1}{k} = 47^0$$

erhalten, und allgemein ist demnach

$$J = \frac{\operatorname{arc\,tang}(M \cdot \operatorname{tang} 47^0)}{47^0},$$

wobei der Bogen des Zählers in Graden auszudrücken ist.

Für die verschiedenen untersuchten Substanzen finden wir in gleicher Weise die folgenden Werthe des Hülfswinkels $\frac{1}{k}$ in Graden ausgedrückt:

Kobaltoxydhydrat . . .	11° 30′	Eisenoxyd	34°
Sauerstoffgas	16° 36′	Eisen	47°
Wismuth	19° 30′	Kobalt	51° 40′
Nickeloxyd	25° 18′	Nickel	68°.

68) Durch diese Hülfswinkel berechnet sich leicht die Intensität des inducirten Magnetismus für jede inducirende Kraft, und so ergiebt sich die nachstehende Tabelle, in welcher für die in der oberen Horizontalcolumne bezeichneten magnetischen Kräfte die beobachteten und berechneten Intensitäten des inducirten Magnetismus zusammengestellt sind.[5])

		Inducirender Magnetismus =				
		2	2,9	3,45	4	∞
Kobaltoxydhydrat . .	Beob.	1,925	2,66	2,97*	3,41*	
	Ber.	1,925	2,65*	3,05	3,40	7,826
Sauerstoffgas	Beob.	1,855	2,47	2,82	3,18	
	Ber.	1,855	2,46	2,76	3,015	5,422
Wismuth	Beob.	1,81	2,38*	2,66	3,05	
	Ber.	1,81	2,35	2,60	2,81	4,615
Nickeloxyd	Beob.	1,715	2,14	2,30*	2,54	
	Ber.	1,715	2,15	2,31	2,46	3,556*
Eisenoxyd	Beob.	1,575	1,88	2,03	2,23	
	Ber.	1,575	1,85	1,96	2,05*	2,647
Eisen	Beob.	1,38	1,51	1,59*	1,69	
	Ber.	1,38	1,54	1,59	1,64	1,915
Kobalt	Beob.	1,325	1,40*	1,465	1,49	
	Ber.	1,325	1,445	1,49	1,525	1,742
Nickel	Beob.	1,20	1,21	1,22	1,225	
	Ber.	1,156	1,207	1,225	1,239	1,324

69) Die Resultate der Rechnung und der Beobachtung weichen so wenig von einander ab, dass die Abweichungen innerhalb der Beobachtungsfehler fallen. Sie sind am grössten für Nickel, was sich auch schon in der entsprechenden Curve der oberen Gruppe der Fig. 2, Taf. II. darin zeigt, dass der der Abscisse 2,9 entsprechende Punkt zu hoch liegt. Aber wir brauchen nur einen Fehler von etwa $^1/_{25}$ in der Bestimmung der bezüglichen Anziehung des Nickelgemisches anzunehmen — wie wir es bei der obigen Berechnung gethan haben — um selbst hier die desfallsige Nichtübereinstimmung aufzuheben. Es scheint mir einstweilen noch nicht an der Stelle, durch einen grösseren Aufwand von Rechnung die Abweichungen noch zu verringern. Diese scheinen überwiegend in dem Sinne stattzufinden, dass für wachsende Kräfte die beobachtete Anziehung um ein Geringes gegen die berechnete zurückbleibt. Namentlich zeigt sich dieses in *regelmässiger* Weise, wenn wir die durch die bei weitem grössere Anzahl sorgfältiger Beobachtungen erhaltene Curve für Eisenoxyd in's Auge fassen. Es würde dieser Umstand sogar die Annahme bekräftigen, *dass unser mathematisches Gesetz nicht nur ein Gesetz der Annäherung, sondern das wahre Gesetz der Natur sei, sobald wir dasselbe auf die auf einen körperlichen Punkt ausgeübte magnetische Induction beziehen.* Denn offenbar müssen dann die Abweichungen von diesem Gesetze, wenn wir den Punkt mit einer endlichen Masse vertauschen, im obigen Sinne ausfallen.

Für die verschiedenen Substanzen haben wir den *Sättigungspunkt* berechnet und in der letzten Verticalcolumne die entsprechenden Werthe von J, welche zum Ausdruck $\frac{1}{2}\pi k$ haben, und für welche $M = \infty$ ist, zusammengestellt.

70) In der nachstehenden Tafel haben wir die Werthe von $\frac{1}{c}$ und $\frac{1}{k}$, so wie die daraus abgeleiteten Werthe der Inductionsconstante λ und der Widerstandsconstante μ vereinigt. Die in der 67. Nummer zusammengestellten Bogen geben, wenn wir dieselben auf den Radius als Einheit beziehen, die Werthe von $\frac{1}{k}$, die entsprechenden trigonometrischen Tangenten die Werthe von $\frac{1}{c}$. Ferner ist (nach 26,32) $\lambda = \frac{k}{c}$ und $\mu = \frac{1}{3k^2}$.

	Magnetische Constanten			
	$\frac{1}{c}$	$\frac{1}{k}$	λ	μ
Kobaltoxydhydrat	0,2035	0,2007	1,00135	0,01383
Sauerstoffgas	0,2981	0,2897	1,02896	0,02799
Wismuth	0,3541	0,3404*	1,04048	0,03861
Nickeloxyd	0,4727	0,4416*	1,0705*	0,06504*
Eisenoxyd	0,6745	0,5934	1,1367	0,11738
Eisen	1,0723	0,8203	1,3074	0,2243
Kobalt	1,2647	0,9017	1,4025	0,27105
Nickel	2,4751	1,1868	2,0855	0,4695*

71) Es folgt aus dem Vorhergehenden, dass der specifische Magnetismus einer Substanz von der Grösse der inducirenden Kraft abhängig ist, und dass die Aenderung desselben mit dieser Kraft für verschiedene Substanzen eine verschiedene ist. Um ihn für eine gegebene Kraft zu bestimmen, füllen wir nach einander in *dasselbe* Fläschchen die zu vergleichenden Substanzen. So haben wir in das Fläschchen III. zuerst das Eisengemenge, dann das Kobaltgemenge gefüllt und die beidesmalige Anziehung bei Anwendung eines Grove'schen Elementes bestimmt. Daraus können wir die Anziehung berechnen, die einmal 1 gr. Eisen, das andere Mal 1 gr. Kobalt, gleichmässig in der Form von feinstem Pulver durch den ganzen inneren Raum des Fläschchens vertheilt, erfährt. Die Daten dazu liefern die 47. und 49. Nummer. Die Anziehung des Eisens, getheilt in die Anziehung des Kobalts, ist alsdann der specifische Magnetismus des letzteren. Diesen Quotienten wollen wir mit 1000000 multipliciren, d. h. den specifischen Magnetismus des Eisens einer Million statt der Einheit gleich setzen. Ebenso erhalten wir den specifischen Magnetismus des Nickels aus den Daten der 47. und 51. Nummer.

Um den specifischen Magnetismus des Eisenoxyds zu bestimmen, wurde das ursprünglich mit dem Eisengemenge gefüllte Fläschchen III. mit diesem Oxyde gefüllt. Das Gewicht desselben ergab sich

6,520 gr.,

die magnetische Anziehung desselben bei Anwendung eines Grove'schen Elementes

0,521 gr.,

nachdem von der ganzen Anziehung die Anziehung des Glases (das hier dicker genommen werden musste, als bei den beiden Fläschchen I. und II.), welche 0,028 betrug, abgezogen worden war. Stellen wir diese Beobachtung mit der Beobachtung der 47. Nummer zusammen, so

finden wir für den specifischen Magnetismus des Eisenoxyds die Zahl

759.

Durch die Zusammenstellung der Resultate der 41. Nummer mit den Resultaten der 42., 43., 44., 45. Nummer ergeben sich die folgenden Zahlen

0,3776 2,8718 0,0311 0,0208*

für den specifischen Magnetismus des Nickeloxyds, des Kobaltoxydhydrats, des Wismuths und des Phosphors, wenn wir den Magnetismus des Eisenoxyds für einen Augenblick als Einheit nehmen. Durch Hülfe der vorhergehenden Zahl führen wir die letzten Zahlen auf andere zurück, welche sich auf die frühere Annahme beziehen, dass der Magnetismus des Eisens eine Million sei.

Wir haben in dem Vorstehenden vorausgesetzt, dass die inducirende magnetische Kraft der Einheit gleich sei. Um für andere inducirende Kräfte den specifischen Magnetismus einer Substanz zu erhalten, müssen wir die für die Einheit der Kraft erhaltene Zahl mit $\frac{J}{J'}$ multipliciren. Wir bezeichnen hierbei durch J und J', bei der jedesmaligen Kraft die Intensitäten des in der zu bestimmenden Substanz und im Eisen inducirten Magnetismus. Die Tabelle der 68. Nummer giebt diese Intensitäten für die inducirenden magnetischen Kräfte 1, 2, 2,9, 3,45 und 4, denen die Stromstärken 1, 2, 3, 4 und die Stärke des Stromes einer 16elementigen Kette entsprechen. Der Werth des Quotienten $\frac{J}{J'}$ bleibt auch für unendlich grosse magnetische Kraft ein endlicher, ebenso für unendlich kleine Kräfte. Im ersteren Falle ist er durch $\frac{J_m}{J_m'}$, im letzteren durch $\frac{\lambda}{\lambda'}$ zu ersetzen, wobei wir J_m' und λ' auf Eisen beziehen.

Hiernach ist die nachstehende Tabelle berechnet.[5])

Specifischer Magnetismus bei verschiedenen magnetischen Kräften.

	Grösse der inducirenden Kraft						
	0	1	2	2,9	3,45	4	∞
Eisen . . .	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000
Kobalt . . .	1082500	1009000	968800	946700	945500	938200	917800
Nickel . . .	743100	465800	390400*	365500*	358500*	352000*	321900
Kobaltoxydhydrat . .	1687	2178	3040*	3740*	4178	4500	8990*(7070)
Eisenoxyd .	660	759	866	911	935	949*	1048
Nickeloxyd .	235* (193)	287	356	400	416	430	533* (455)
Wismuth . .	18,7	23,6	31,0	36,0	38,6	40,5	56,9
Phosphor . .	12,6*	15,8*	20,7*	24,1*	25,8*	27,1*	37,9*

72) Ich knüpfe nur wenige Bemerkungen an die vorhergehende Tabelle an.

Ich habe früher*), bei Anwendung von sechs Elementen, den specifischen Magnetismus des Eisenoxyds bestimmt und für denselben

891

erhalten, während unsere Tabelle die Grenzen

660 und 1048

giebt. Für die damals angewandte Stromstärke $4^1/_3$, was, wenn damals auch die Einheit der inducirenden magnetischen Kraft dieselbe wie in den vorstehenden Bestimmungen gewesen wäre, für diese 3,6 geben würde, gäbe dann die Tabelle nahe

940.

Aber die frühere Einheit war kleiner, weil das frühere Glasgefäss eine dickere Wandung und eine grössere Krümmung hatte. Dadurch wird die Uebereinstimmung der beidesmaligen Resultate ganz befriedigend.

Sobald wir überhaupt unsere Gefässe, in welchen die Bestimmungen gemacht werden, mit anderen vertauschen, sobald wir die beiden Halbanker anders auf die Polflächen unseres grossen Elektromagneten auflegen, sobald wir an einer anderen Stelle die Anziehungen bestimmen — ändert sich die Einheit unserer inducirenden Kraft und somit unsere Constantenbestimmung. Unter verschiedenen Verhältnissen angestellte Bestimmungen werden erst vergleichbar, nachdem die fragliche Einheit vorher ermittelt worden ist.

Die Aenderung dieser Einheit durch Vertauschung der Gefässe I. und II., sowie der Gefässe III., IV. und V. unter einander ist nur sehr gering; sie wird für unsere Untersuchungen merklich, obwohl nicht bedeutend, wenn wir eins der beiden ersten Gefässe mit einem der drei letzten vertauschen. Darum haben wir nothwendig einen kleinen Fehler gemacht, indem wir, nachdem im Gefässe II. der specifische Magnetismus von Kobaltoxydhydrat, Nickeloxyd, Wismuth und Phosphor einerseits und Eisenoxyd andererseits, und in dem Gefässe III. der specifische Magnetismus von Eisen und Eisenoxyd verglichen worden war, aus der Zusammenstellung dieser Bestimmungen den specifischen Magnetismus der zuerst genannten vier Substanzen abgeleitet haben.

Aus demselben Grunde bedarf auch meine Bestimmung des specifischen Magnetismus des Sauerstoffgases**) einer kleinen Correction,

*) Numerische Vergleichung des Magnetismus des Sauerstoffgases und des Eisens. Annalen Bd. 83, S. 113. [Werke II, S. 271.]

**) Siehe die eben citirte Abhandlung, S. 114. [Werke II, S. 271.]

deren Sinn bei der grossen Verschiedenheit der beiden angewandten Gefässe ich nicht von vorne herein bestimmen möchte, und deren Belang jedenfalls schwer zu schätzen ist. Darum habe ich auch die früher bei Anwendung von sechs Elementen gefundene Zahl

$$3500$$

nicht ohne Weiteres hier aufgenommen. Wir erhalten für die extremen Werthe des specifischen Magnetismus des Sauerstoffgases bei steigender inducirender Kraft das Verhältniss

$$1 : \frac{J_m}{J_m'} \cdot \frac{\lambda'}{\lambda},$$

indem wir J_m und λ auf Sauerstoffgas und J_m' und λ' auf Eisen beziehen, also nahe

$$1 : 3{,}6.$$

73) Schliesslich resumire ich die gewonnenen Resultate.

1. Für alle magnetischen und diamagnetischen Substanzen giebt ein und dasselbe allgemeine Gesetz die Intensität des inducirten Magnetismus als Function der erregenden Kraft. Für jede besondere Substanz particularisirt sich dieses Gesetz durch die Werthe zweier Constanten. Von diesen beiden Constanten giebt die eine bei verschwindender inducirender Kraft das Verhältniss dieser Kraft zum inducirten Magnetismus (Inductionsconstante), und die zweite bestimmt den Widerstand, welcher sich dem entgegensetzt, dass der inducirte Magnetismus der inducirenden Kraft proportional wächst (Widerstandsconstante).

2. Für jede Substanz giebt es einen Sättigungspunkt, dem sie sich bei zunehmender inducirender Kraft immer mehr nähert.

3. Die diamagnetischen Substanzen (Wismuth, Phosphor) verhalten sich bei gerade entgegengesetzter Wirkung auf die inducirenden Magnetpole, was das Gesetz über die Intensität ihrer Erregung betrifft, vollkommen ebenso wie die magnetischen Substanzen. Dieses gleiche Verhalten zwingt uns nach meiner Ansicht anzunehmen, dass der Zustand eines diamagnetisch erregten Körpers von dem Zustande eines magnetisch erregten an und für sich in keiner Weise verschieden ist, dass ferner Polarität auch bei der Erregung diamagnetischer Substanzen vorhanden ist, diese aber durch eine Induction entgegengesetzt derjenigen, welche bei magnetischen Körpern stattfindet, hervorgerufen wird.

4. Die das Gesetz der Induction darstellenden Curven für die diamagnetischen Substanzen werden auf beiden Seiten von Curven für magnetische Substanzen umgeben. Sie zeigen, dass der Widerstand, welcher sich der Erregung diamagnetischer Substanzen entgegenstellt.

geringer ist, als bei den meisten magnetischen Substanzen, dass er aber keineswegs verschwindet, im Gegentheile grösser ist als beim Sauerstoffgase und beim Kobaltoxydhydrat. Herr W. Weber sieht den Unterschied der magnetischen und diamagnetischen Substanzen darin, dass in letzteren die elektrischen Molecularströme, einmal erregt, keinen „Widerstand“ finden, und gründet darauf seine Theorie des Diamagnetismus. Er sagt auch, dass kein „Scheidungswiderstand“ in diamagnetischen Körpern vorhanden ist.*) Darüber aber habe ich keinen Aufschluss gefunden, ob er diesen Scheidungswiderstand (der eben unser Widerstand ist) mit dem, was er schlechthin Widerstand nennt, als gleichbedeutend betrachtet, oder wenigstens das gleichzeitige Verschwinden beider im Wismuth als eine theoretische Nothwendigkeit ansieht. Unter diesen Voraussetzungen würden unsere Resultate mit seiner Theorie im Widerspruche sein.

5. Von dem specifischen Magnetismus einer Substanz kann in der allgemeinen Bedeutung, wie man von specifischem Gewichte spricht, *nicht* die Rede sein. — Kobalt ist gerade so stark magnetisch als Eisen, wenn wir einer bestimmten magnetischen Kraft uns bedienen, welche ihrer Grösse nach zwischen denjenigen beiden liegt, welche durch ein Grove'sches Element und durch zwei Elemente hervorgerufen werden. Bei einer grösseren magnetischen Kraft ist Eisen, bei einer kleineren Kobalt *stärker* magnetisch. Vergleichen wir den specifischen Magnetismus des Kobaltoxydhydrats mit demjenigen des Nickels, so erhalten wir Zahlen, die nahe um das $2^1/_5$ fache von einander verschieden sind, je nachdem wir ein einzelnes Element oder eine Kette von 16 Elementen anwenden. Der specifische Magnetismus (Eisen als Vergleichungspunkt genommen) des Hydrats ist bei der letztgenannten Erregung doppelt so gross als bei der ersten. Für Sauerstoffgas und Wismuth sinkt dieses Verhältniss etwa auf 1,9 und 1,8. Hieraus erklärt sich zum Theil, dass, während Herrn Faraday's Schätzung des Magnetismus des Sauerstoffgases bei nahe gleicher Kraft (und gleicher Beobachtungsweise) mit meiner Bestimmung gut stimmt, andere Physiker für Sauerstoffgas und Wismuth viel kleinere Zahlen finden.**)

---

*) Elektrodynamische Maassbestimmungen, l. c. S. 543 und 545. [W. Weber's Werke, Bd. III., S. 523—525.]

**) Ich kann meine Bedenken gegen die Anwendung der Schwingungsmethode *zur Bestimmung des specifischen Magnetismus der Körper* nicht unterdrücken. Diese beziehen sich nämlich 1. auf die dabei stets sich ändernde Intensität des inducirten Magnetismus und 2. auf die Hervorrufung endlicher elektrischer Strömungen im Innern des schwingenden Körpers, auf welche der inducirende Magnet einwirkt.

6. Der Wechsel von magnetischer Anziehung und diamagnetischer Abstossung bei Gemengen von magnetischen und diamagnetischen Substanzen erklärt sich vollständig aus der Aenderung des specifischen Magnetismus mit der Grösse der inducirenden Kraft. — Wenn wir 10 Millionen Theile Wismuth und 310 Theile Eisen mengen und mit dem Gemenge unsere Fläschchen füllen, so beobachten wir weder Anziehung noch Abstossung, falls wir einen Strom anwenden, der doppelt so stark ist als derjenige, der einem Grove'schen Elemente entspricht; bei einer kleineren Kraft wird das Gemenge *angezogen*, bei einer grösseren *abgestossen*. Diese Abstossung wie jene Anziehung können wir für eine *gegebene* Kraft *berechnen*. Bei Anwendung eines Grove'schen Elementes ist die Anziehung nahe ein drittel Mal so gross als diejenige Abstossung, welche bei gleicher Kraft stattfinden würde, wenn das ganze Gefäss mit Wismuth gefüllt wäre, bei Anwendung einer Kette von 6 Elementen erhalten wir statt der eben bestimmten Anziehung eine ihr nahe gleiche Abstossung; bei einer Kette von 16 Elementen endlich eine Abstossung, die ungefähr $^2/_5$ derjenigen ist, die reines Wismuth bei einem Elemente erfährt.*) Die Resultate würden stärker hervortreten, wenn Wismuth mit Nickel statt mit Eisen gemengt würde. Sie würden bei einer Mengung mit Kobaltoxydhydrat im entgegengesetzten Sinne auftreten; das heisst, wenn bei irgend einer Stromstärke Wismuth und das Hydrat in solcher Proportion gemengt würden, dass Abstossung und Anziehung sich aufhöben, so würde bei geringerer Stromstärke Abstossung, bei grösserer Anziehung des Gemenges stattfinden.

7. Diejenigen Substanzen, welche der Magnetisirung einen geringeren Widerstand entgegensetzen, scheinen auch den einmal angenommenen Magnetismus leichter (im Sinne des Stahls) festzuhalten. Wenigstens finde ich vom reinen Nickel angegeben, dass es keinen Magnetismus behalte, während unser Kobaltoxydhydrat dieses thut; ebenso Sauerstoffgas, das, wie ich zuerst bemerkt habe, in einer indifferenten Glaskugel durch Commutation der Pole von dem Elektromagneten nach unserem Belieben angezogen und abgestossen wird.**) Dasselbe habe ich endlich für Wismuth aus meinen Versuchen gefolgert, wogegen nur der Zweifel erhoben worden ist, ob nicht vielleicht die beobachtete

*) Die genauen Verhältnisszahlen sind nach der letzten Tabelle:

$$\frac{310 - 236}{236} = 0{,}32,$$

$$\frac{405 - 310}{236} = 0{,}40.$$

**) [Siehe Abhandlung 20, S. 274, und Anm. 1 dazu.]

Erscheinung inducirten galvanischen Strömen zuzuschreiben sei.*) Doch ich will hier einer späteren Mittheilung „über das Wesen der Coërcitivkraft“ nicht vorgreifen.

8. Nach Abschluss der gegenwärtigen Abhandlung wurde ich darauf aufmerksam gemacht, dass Herr Lallemand, *um die Intensität eines durch einen galvanischen Strom in einer Spirale hervorgerufenen Inductionsstromes auszudrücken*, dieselbe Function der inducirenden Kraft gefunden hat, die nach dem Vorhergehenden sich für die Intensität des durch Induction hervorgerufenen Magnetismus ergiebt.**) Diese Uebereinstimmung musste mich überraschen. Wenn die beiderseitigen Resultate nicht bloss Annäherungsgesetze, sondern wirkliche Gesetze der Natur sind, so ist bewiesen, dass, wenn wir Magnetismus durch Ampère'sche Molecularströme erklären, diese Ströme denselben Erregungsgesetzen unterworfen sind, wie endliche galvanische Ströme. Was aber auch, abgesehen von jeder Theorie, die geheimnissvolle Thätigkeit, die im galvanischen Strom einerseits, im Magnetismus andererseits sich offenbart, ihrem wahren Wesen nach sein möge: so viel steht hiernach fest, dass sie immer Aeusserung einer und derselben Naturkraft ist.

Indem ich diese Abhandlung schliesse, kann ich nicht unerwähnt lassen, dass Herr Th. Meyer mir in meinen Experimentaluntersuchungen mit unermüdlichem Eifer als Assistent behülflich gewesen ist.

---

*) [Vgl. Abhandl. 23, S. 298—299.]

**) Ann. de Chimie et Physique, 3me série, T. XXXII., p. 440. 1851. In der deutschen Uebersetzung „Untersuchung der Gesetze der Induction vermittelst der elektrodynamischen Drehwaage“ heisst es:

> „Nach mehreren fruchtlosen Versuchen, durch ein empirisches Gesetz das Verhalten der beiden Intensitäten mit hinreichender Annäherung auszudrücken, fand ich, dass der Bogen, dessen Tangente gleich der Intensität des inducirenden Stromes ist, mit grosser Genauigkeit die Intensität des secundären Stromes ausdrückt. Wenn man bedenkt, dass die Versuche von dieser Art unter ziemlich ungünstigen Bedingungen angestellt werden, so ist die Uebereinstimmung so vollkommen, dass ich nicht anstehe, das so bestimmte Verhältniss als den wahren Ausdruck des Phänomens zu betrachten; man hat also, wenn man durch J die Intensität des inducirenden, durch D die Intensität des secundären Stromes und durch K eine Constante bezeichnet:
>
> $$J = K \operatorname{tg} D.\text{“}$$

(Krönig's Journal für Physik des Auslandes, Bd. III., p. 147. Berlin 1851.)

Eine neue Prüfung dieses Resultates scheint mir sehr wünschenswerth, und dann eine Wiederholung der Versuche mit Strömen, die in Drähten von verschiedenen Metallen und überhaupt von verschiedener Leitungsfähigkeit inducirt werden, in theoretischer Hinsicht von grosser Bedeutung. [7])

25.

Commentatio de crystallorum et gazorum conditione magnetica qualis hodie intelligitur.*)

Quum ante hos quinque annos mihi Ordinis Philosophorum Decani muneris fungenti officium impositum esset, ut dissertatione ad solennitatem, qua quotannis die tertio mensis Augusti Serenissimi almae Rhenanae Conditoris sacra memoria celebratur, invitarem, scribendi occasione ita usus sum, ut phaenomena a me in doctrina Magnetismi inventa succincte exponerem. Dissertatio latius, quam fieri solet, ideo divulgata est, quod integram eam et illustrissimus Zantedeschi Annalibus a se Patavii editis inseruit**), et Arago, quem praematura morte nobis ereptum valde lugemus, francogallice, quamquam non ubique accurate, vertendam atque in *Annales de Chimie et Physique* recipiendam curavit.***) Forte evenit, ut idem officium inter quinque Ordinum Decanos alternans hoc ipso anno ad me rediret. Itaque haud alienum putavi, si ea, quae de inventis biennii praecedentis in priore dissertatione scribere incepi, in annos quinque sequentes producerem. E variis autem argumentis duo tantum tractare constitui: 1. Conditionem magneticam crystallorum ad systema tesserale non pertinentium, 2. Magnetismum corporum aëriformium. Quae ad prius argumentum spectant, experimenta novitate sua conspicua primus protuli et phaenomena illa, tum secundum naturam crystallorum, aut paramagneticam aut diamagneticam, tum secundum formam mirum quantum inter se diversa, simplicissima proposita hypothesi explicui, explicationem calculo firmavi. Altero autem argumento, cuius origo a venerando Bancalari petenda est, quum maius fortasse scientiae naturali incrementum afferri videretur, equidem ad id promovendum omnes vires intendi. Ceterum

*) [Festschrift gelegentlich der Gedächtnissfeier für den Gründer der Bonner Universität und der akademischen Preisvertheilung, Bonn 1854.]

**) [Annali di Fisica. 1849—1850. p. 165—193.]

***) [Annales de Chimie et de Physique (3), 29, S. 129 - 160. 1850.]

utramque rem tum, quum mihi scribendi occasio olim oblata fuit, nimis occultam, ita pertractavi, ut, et quid in ea illustranda singuli naturae scrutatores praestiterint, et qualis sit hodie quaestionis conditio, dilucide appareret. Fieri autem non potuit, quin tot et tam variis phaenomenis sensim atque pedetentim prodeuntibus, multa eorum, quae anno 1849 conscripsi, aut omnino reiicienda essent aut alia explicandi via stabilienda.

De conditione magnetica crystallorum.

1) Ineunte anno 1847 inter primos experimenta repetivi, quibus nisus illustrissimus Faraday anno praecedente corpora paramagnetica et diamagnetica ratione certa et definita primus distinxerat simulque demonstraverat, conditionem magneticam corporum, longe generaliorem, ne dicam universalem, esse, quam huc usque quisquam suspexisset. Tum accidit, ut certa corpora (particulas carbonis, corticis arboreae) paramagnetica invenirem, quae die praecedente diamagnetica sese praebuissent, et vice versa. Talis anomaliae causas perquirenti mihi inter alias haec quaestio occurrit, num structura corporum hisce in phaenomenis alicuius momenti esset. Quam quaestionem si affirmas, laminae secundum diversas directiones e crystallo esectae modo diverso a magnete sollicitentur, necesse est. Elegi igitur Turmalinum, forma quadrata, qualem ad lumen polarisandum adhibere solebamus. Inter polos magneticos ita suspensa, ut libere oscillare posset, prout axis crystallographicus principalis aut horizontalis aut verticalis erat, aut polos fugiebat, quasi esset diamagnetica, aut, ut exspectabatur secundum naturam eius paramagneticam, in lineam polos coniungentem dirigebatur. Dubitari non potuit, quin lamina, cum esset valde paramagnetica, etiam primo casu, ubi axis erat horizontalis, *polis satis approximatis*, directionem peteret axialem, sicut altero casu evenerat. Hoc modo edoctus, crystalli directionem ex polorum distantia pendere, simulque carbonis experimentum recordans, eodem die primus observavi, carbonis fragmentum axialem situm tenere, si poli alter ab altero removentur, aut si fragmentum ab illis removetur, aequatorialem vero directionem, si poli alter alteri admoventur, aut si fragmentum iis approximatur; tum animadverti, e contrario Turmalinum meam, si axis horizontalis est, polis remotis, aequatorialem, polis propinquis, axialem directionem petere. Deinde inveni, laminam e Spatho calcario esectam, qualis in lumine polarisato annulos coloratos exhibet, ita suspensam, ut axem haberet horizontalem, eodem modo ac carbonis fragmentum, contrario igitur ac Turmalinum, dirigi. Hodie constat, quod ab initio persuasum habui et declaravi, ambas phaenomenorum series, in carbone et in cry-

stallis observatas, omnino diversae esse naturae; nimirum in carbone et in corporibus simili modo compositis adtractionem substantiarum paramagneticarum cum repulsione substantiarum diamagneticarum, quae in illis sunt mixtae, pugnare; quod autem ad crystallos spectat, Turmalinum paramagneticam non ideo polos fugere, quod eius particulae repellantur, nec Spathum calcarium diamagneticum ideo polos petere, quod particulae adtrahantur. Sed pergamus exponere, quomodo quaestio, quum theoreticis rationibus tum experimentis institutis, sensim promota sit.

2) Ut crystallos ad systema tesserale pertinentes, si proprietates opticas spectas, nullo modo de corporibus non crystallisatis distinguere neque in iis refractionem duplicem observare potes, ita etiam iidem illi crystalli nulla peculiaria phaenomena magnetica praebent. Hisce igitur crystallis omissis, ad eos primum me converto, quibus unicus axis crystallographicus, unicus axis opticus est. Omnia phaenomena hucusque descripta una eademque percipiendi ratione complecti possumus, ita scilicet, ut primo loco carbo noster poli magnetici inductione exerceatur tam paramagnetica quam diamagnetica, quarum haec, distantia mutata, rapidius accrescit et decrescit; secundo loco in crystallis axis propria quadam vi propellatur, quae ad inductionem notam materiae aut paramagneticam aut diamagneticam accedit et, distantia aucta, inductionem superat.

3) Quod ad corpora non crystallisata pertinet, iam ab initio, Ferrum cum Bismutho miscendo, perspicuum feci, in illis substantias paramagneticas et diamagneticas tali ratione esse coniunctas, ut ambae inductiones ponderibus suis librentur. Quo facto, pro maiore aut minore polorum distantia, aut attractionem paramagneticam aut repulsionem diamagneticam invenies. Haec res tam gravis mihi est, ut affirmare non auderem, conditionem magneticam, qualis huc usque observata esset, cum conditione diamagnetica, nuperrime ab illustrissimo Faraday detecta, congruere et hancce solam esse differentiam, quod duae illae conditiones e contrario inducendi modo evadant [Abhandl. 3]. Nondum videlicet experimenta docuerant, corpora diamagnetice inducta polis esse praedita. Quod quum paulo post illustrissimorum Reich, Weber, Poggendorff nec non meis experimentis demonstratum esset, eo magis intelligendi ratio, in extrema paragrapho praecedente exposita, mira mihi videbatur. Quaestionem igitur denuo aggresso contigit mihi, ut probarem, polorum distantiam eatenus ponderandam esse, quatenus intensitas inductionis a polis emanantis ex illa ita pendeat, ut corpora, de quibus agatur, pro sola intensitate magnetis aut repellantur aut ad-

trahantur; unde sequitur, miscendo corpus effici non posse, quod omnino magnete non sollicitetur [Abh. 7, Nr. 57].

4) Prior noster percipiendi modus integer remanebat, legi autem generaliori subiiciendus erat. Quae quidem lex tum temporis eius viri assensu, qui hisce in inquisitionibus eminet, non gaudebat; aggressi sunt meam sententiam clarissimus E. Becquerel et praecipue, qui saepius eam non recte interpretatus est, Tyndall. Hodie nullo modo eam impugnari posse existimo. Iam exeunte anno 1849 ad eam rectius constituendam experimento probavi, inductionem Chalybis indurati a polo magnetico provenientem rapidius augeri quam Ferri, ideoque Chalybem et Bismuthum hac in re pari modo se habere, si cum Ferro eos compares. Recentissime vero sententiam meam iis experimentis confirmavi et amplificavi, quae ad perquirendum magnetismum variarum substantiarum instituimus. Quae substantiae sunt: Nicolum, Cobaltum, Ferrum, Oxydum ferri, Oxydum nicoli, Bismuthum, Phosphorus, Oxygenium, Hydras cobalti oxydati. Ad dissertationem ipsam lectorem remittens, ea tantum hic proferre satis habeo, quae ad propositum nostrum spectant. Magnetismus inductione paramagnetica aut diamagnetica in aliqua substantia provocatus, intensitate poli magnetici aucta, magis magisque saturationis cuidam conditioni adpropinquat, in singulis substantiis valde diversa ratione accrescens. Omnia pendent e duobus numeris constantibus, quorum alterum *inductionis*, alterum *resistentiae constantem* appellavi. Quo minor hic est, eo rapidiore ratione magnetismus, inductione provocatus, augetur. Substantiae supra memoratae hoc ordine enumeratae sunt, ut corporis praecedentis constans resistentiae eundem numerum sequentis superet. Unde apparet, Bismuthum et Phosphorum, solos diamagneticos, aucta polorum vi, rapidius induci, quam Ferrum et plurimas substantias paramagneticas, lentius vero quam Oxygenium et Hydratem cobalti oxydati, qui et ipsi paramagnetici sint. Ita lex, quam supra enuntiavi, dum extenditur, certis simul finibus circumscribitur. [Abhandl. 24, Nr. 73.]

5) Ad crystallos uniaxes redeamus. Opus erat, lege empirica varia eorum phaenomena complecti; qualem supra indicatam legem proposui, secundum quam totam actionem crystallum exercentem e duabus partibus constare fingimus, quarum altera eadem est, ac si crystallus in omnes directiones aequa inductione, sicut materia non crystallisata praeditus esset, altera autem efficit, ut axis dirigatur. Tacite quidem tales vires secum pugnantes crystallum exercere finxi; quod ut facerem phaenomena paragrapho praecedente explicata me compulerunt. Nus, quam vero hanc sententiam, quam mihi tribuere non veriti sunt, revera meam esse declaravi, neque mihi in mentem venire potuit, illa decom-

positione *prorsus imaginaria* novae actionis magneticae phaenomena explicare, multumque abfuit, ut lineam idealem magnete sollicitari ponerem. Noli omittere, eo tempore, quo primum de crystallorum phaenomenis explicandis agebatur, diamagnetismi naturam magis quam hodie occultam fuisse.

Forte accidit, ut in omnibus a me perquisitis crystallis axis repulsionem observarem, nulla ratione paramagneticae aut diamagneticae conditionis ipsius substantiae habita. Porro, quum Quarzii etiam crystallus, qui fortuito Ferrum continebat, directionem aequatorialem peteret, eo adductus sum, ut statuerem, axem opticum in crystallis cum positivis tum negativis repelli. [Abhandl. 2, Nr. 2.]

6) Hac ratione crystallorum nova conditio sese obtulerat, quum illustrissimus Faraday invenit, certas substantias crystallinas, insigni fissilitate praeditas, polis apte remotis, ita dirigi, quasi linea fissilitatis plano perpendicularis polis adtraheretur. Hoc phaenomenon cum eo congruit, quod antea observare mihi non contigit, quum perscrutabar, num crystalli positivi contrario modo ac negativi magnete dirigerentur. Accessit, ut planum fissilitatis in crystallis uniaxibus illustrissimi Faraday (Bismuthum, Stibium, Arsenium) perpendiculare sit axi crystallographico principali. Itaque non amplius dubitare potui, quin phaenomena a Faraday detecta cum iis, quae ipse inveni, una eademque lege regerentur, ita ut exempli causa Bismuthum, si cum Spatho calcario comparetur, crystallis positivis sit adnumerandum [Abhandl. 12]. Quae sententia in Bismutho quidem, opacitatis causa, experimento comprobari non poterat, sed quaerenti mihi mox alii pellucidi crystalli fissilitate carentes (Glacies, Zirconum) occurrebant, quarum axes attrahebantur.*)

7) Haec erat quaestionis conditio, quum auctumno anni 1849 primus conatus sum, novorum phaenomenorum theoriae mathematicae fundamenta iacere. Hunc ad finem mihi operae pretium visum erat perquirere, num crystallus paramagneticus in formam cubi redactus polis magnetis vario vigore attraheretur, prout hoc aut illud cubi latus illis imponeretur. Adhibito cubo e crystallo pulchro sulfatis ferrici (cuius memoratu dignam conditionem magneticam postea (21) explicabimus)

---

*) In commentatione sua Faraday etiam Sulfatis ferrici et nicolici mentionem facit. Quod ad illum pertinet, ipse animadvertit, eum non semper exacte secundum legem a se prolatam dirigi. Quam rem inde explicui, quod axis unicus polis attractus non plano fissilitatis perpendicularis sit, sed cum eo angulum 17° formet (19, 21). Sulfatem vero nicolicum, qui temperatura ordinaria crystallos uniaxes non praebet, examinare mihi non licebat. Postea eum negativum inveni et probavi, ipsius axem, qui idem est opticus et magneticus, polis adtrahi.

esecto, pondera, quibus ad eum detrahendum opus erat, decima tantum parte inter se differre inveni, quam parvulam differentiam ad explicanda phaenomena non sufficere existimavi; sed falso. Quaestionem a me propositam clarissimus Tyndall anno 1851 experimentis accurate et subtiliter institutis ad finem perduxit demonstravitque, quod ego initio eruere conatus eram, postea autem dereliqueram. Hinc evenerat, ut in libello, quem ante hos quinque annos conscripsi [Abh. 15], hisce verbis usus, disquisitioni finem imponerem: „Quo modo enim phaenomena explicare vis? Non displiceret nobis ponere, in aethere gyros Ampereicos inductione una aut altera directione circum axes facilius et validiores nasci, aut quod idem est, *crystallum inductione magneticum factum, polos secundum axium opticorum directionem adipisci:* nisi haec nova videndi ratio etiam attractionem aut repulsionem massae posceret solo axium situ mutatam. Quae actio diversa non observatur [S. 175].“

8) Paulo post persuasum mihi erat, repulsionem, qua particulae Turmalini in prima nostra observatione magnete agi videntur, revera non existere; ita ut, si phaenomenon explicare velis, demonstres oporteat certis suspensionis conditionibus Ferri prisma polos fugere, Bismuthi eos adire, utroque prismate magnetice inducto. Exempla statim sese obtulerunt. Acum scilicet magneticam, in plano horizontali ita suspensam, ut in eo circa punctum fixum libere moveatur, dum directionem petit meridiano magnetico parallelem, fugere videre potes polum terrestrem, quo exerceatur.[1]) Quod ut observes, sufficit pro fixo illo puncto quodvis punctum sumere, dummodo non in ipsa acu situm sit. Acus pari modo, sed minus valide dirigeretur, si conditio magnetica non ei propria esset, sed deberetur inductioni poli magnetici terrestris.

9) Quibus praemissis sumsi, in particulis crystalli, dum magnetice inducatur, polos certam in directionem e sola structura crystalli pendentem provocari. In crystallis uniaxibus, de quibus huc usque actum est, directio illa aut axi optico perpendicularis sit, aut cum eo congruat, necesse est.

Illo posito, finxi lineam in media parte suspensam, libere in plano horizontali vibrantem, cui perpendiculariter parvulae acus magneticae mediis in partibus sunt affixae. Quodsi talis linea polo magnetico, qui certum quendam locum tenet, sollicitatur, calculi ope deducere potes, quantum actio, quam singula puncta subeunt, ad rotandam lineam valeat. Sic invenies, inter illa puncta, quaecunque lineae vibrantis sit positio, tria semper existere, quae polo ita afficiantur, ut nulla lineae rotatio inde prodeat. Haec tria puncta lineam, quam in indefinitum prolongatam fingere licet, in segmenta quattuor dividunt. Actio, qua

singula eiusdem segmenti puncta exercentur, lineam in eandem directionem propellit, quae tamen directio, si ab uno segmento ad alterum procedis, intervertitur. Si lineam rectam, sese circumvolventem, in omnibus eius positionibus considerabis, pro loco geometrico illorum punctorum neutralium, quae, polo inducente, ad lineam rotandam non faciunt, curvam invenies tertii ordinis. Axibus coordinatarum rectangulis (OX, OY) adhibitis, in centro revolutionis (O) sese secantibus, quorum alter polum (P) contineat, ad curvam illam exprimendam haecce prodit aequatio:

$$y^2 = -\frac{x(x-c)^2}{x-3c};$$

c denotante distantiam OP. Unde deducitur, curvae, per centrum O transeunti, punctum esse duplex in polo P situm et praeterea asymptotam, lineae OP perpendicularem, cuius distantia a centro triplo maior sit, quam poli [Abhandl. 23, S. 312].

10) Potes, quod hic longum est exponere, ex iis, quae praecedunt, completam problematis solvendi methodum petere. Etenim si phaenomena spectas, quae Turmalini prisma inter polos horizontaliter suspensum praebet, duas illas actiones, quae crystallum pro polorum distantia in unam alteramve directionem propellunt, eo explicare potes, quod quaeque particula magnetica duabus viribus sollicitetur, altera adtrahente, altera repellente. Quarum virium e polo emanantium prior quidem alteram superat, ita ut particula semper adtrahatur; si autem ambas secundum directionem lineae vibranti perpendicularem decomponis, e positione huiusce lineae et particulae magneticae in illa pendet, utrum, si vires decompositas respicis, prior alteram superet, an ab ea superetur; unde rotationis inversionem deduces.

11) Etiamsi hac rei explicandae ratione aliquid contribuisse mihi videor ad phaenomenorum novorum ipsam naturam et indolem cognoscendam, nihil tamen ad hypothesin nostram confirmandam attuli. Eo consilio explicandum esset, qualis conditio et distantia particularum illarum crystalli, quae et ipsae poli inductione magnetes factae sint, esse deberent, ut particulae secundum certam illam directionem polos adipiscerentur. Hoc autem eveniret, si forma particularum talis esset, ut secundum illam directionem earum dimensio praevaleret, aut, si particulae ex atomis constarent, quae secundum illam directionem arctius collocatae essent.

Tum temporis etiam crystallos paramagneticos ita imitatus sum, ut fragmenta fili ferrei in bacillum (cuius materia talis erat, ut a magnete non admodum afficeretur) certas in directiones perforatum insererem. Bacillum cylindricum e cupro factum, cuius foramina veluti

radii ab axe ad circumferentiam erant directa, plane ita sese habuit, quemadmodum de turmalini crystallis scripsimus. Eodem modo etiam omnia alia phaenomena, quae in crystallis observavi, imitari potes; quo consilio, si crystallus diamagneticus est,. fragmentorum ferreorum loco bismuthea tibi adhibenda sunt.

12) Ineunte anno sequente clarissimi Knoblauch et Tyndall, qui meam explicandi rationem Societati Harlemensi oblatam ignorabant, alteram notatu dignam proposuerunt. Tyndall eam longius persequutus est et experimentis eleganter institutis effecit, ut praesertim in patria sua magno favore reciperetur. Liceat mihi uno tantum exemplo eam exponere. Ille laminam e Bismutho non crystallisato confectam, postquam eam compresserat, eodem modo inter polos suspendebat, ac illustrissimus Faraday crystallum Bismuthi fissilitatis planis limitatum et ego crystallum Spathi calcarii suspenderamus. Directiones laminae compressae et Spathi calcarii congruebant et oppositae erant directioni laminae crystallisatae. Hinc deducitur, phaenomena crystallorum eo nasci, quod crystallis secundum diversas directiones diversa sit densitas. Quodsi res ita se habet, Spatho calcario secundum axem principalem maximam densitatem, Bismuthi rhomboedro minimam adscribas necesse est. Infitiari non potes hac suppositione phaenomena explicari, quod idem nostra ratione eo fit, ut supponamus, particulas Spathi calcarii inductione diamagnetica polaritatem axi parallelam, particulas Bismuthi crystallisati axi perpendicularem adipisci.

13) Nunquam mihi in mentem venit, phaenomena, quibus a clarissimis Knoblauch et Tyndall magnetismi scientia aucta est, negare. Cur ea non probarem, quum ipse iam antea observationem communicassem, qua demonstratur cylindrum vitreum, subito refrigeratum et inter polos suspensum, simili modo ac crystallum sese habere? [Abhandl. 9]. Propter experimenti autem difficultatem destiti vitrum, mechanica vi compressum, inter polos examinare. Alia vero est quaestio, num phaenomena, a me et ab illustrissimo Faraday detecta, hac ratione explicari possint. Si luminis analogiam retinere vis, neque omnino crystallum vitro compresso non effici posse omittis, explicationem e novis phaenomenis petitam ad illa restringendam esse putabis, quae tali vitro respondeant.

14) Si quaeritur, qui sit nexus inter clarissimi Tyndall rationem et meam, utrum una alteram excludat an confirmet, nihil responderi potest, nisi certam et definitam hypothesin accipias, qua natura magnetismi et conditio particularum crystallos constituentium explicetur. Nullo modo quidem dubitari licet, quin corpus e particulis compositum, quae certa directione densius collocatae sunt, secundum hanc directio-

nem validius polo adtrahatur, si paramagneticum, validius repellatur, si diamagneticum est. Quae autem sunt hae particulae? Certe in comprimendo corpore atomi, simplices aut compositae, non sunt quae invicem approximantur. An statuere vis, ipsas atomos quasi magnetes elementares magnetis inductione fieri? Haud supervacaneum videtur hac de re animadvertere, theoriam luminis magnam atomorum distantiam pro earum dimensione postulare. Sin autem actionem more usitato ad calculos vocare vis, qua particula exterior magnete sollicitatur, magnetes elementares fere inter se contingere fingas necesse est, ut re vera notabilis evadat actionis intensitas.

Procul dubio igitur nemo erit, qui neget, theoriam huc usque ad eruendam crystallorum phaenomenorum ultimam causam et rationem paullum profecisse. Neque tamen quisquam haec phaenomena et ea, quae a corporibus mixtis, non crystallisatis, exhibentur, cum clarissimo Tyndall in unum confundet eodemque modo explicabit.

15) Utraque theoria, et clarissimi Tyndall et nostra, postulat, ut directio crystalli inducti intervertatur, omnia vero cetera phaenomena non mutentur, si crystalli natura paramagnetica in diamagneticam abit, aut vice versa, dummodo conditio et mutua distantia particularum non varietur. Sed quaedam observationes obstare videbantur. Accessit difficillima quaestio, quatenus optica crystallorum conditio et magnetica sint connexae; num fortasse crystalli positivi et negativi contrario modo magnete sollicitentur. Quam ad quaestionem discutiendam mox coactus sum axes principales inductionis ponere, quos *axes magneticos* nominavi. Axes magnetici in crystallis uniaxibus cum opticis congruunt.

Quum singulae observationes interdum inter se discreparent, ita ut varias interpretationes admitterent, operae pretium duxi, ad experimenta redire et una cum Beer, viro amicissimo, conditionem corporum et magneticam et opticam et crystallographicam eodem tempore summa cum diligentia perquirere. Quamquam duae observationum series huc usque sunt communicatae [Abhandl. 17], nihilominus tamen eas multiplicandas esse censeo, ut res ad finem perduci possit. Interea iam proferam sequentes conclusiones ad crystallos uniaxes pertinentes.

16) Spatho calcario isomorpha sunt corpora haec: Natrum nitricum, Magnesia carbonica, quibus ut illi refractio est negativa, et Spathum ferricum opacum. Spathum calcarium et Natrum nitricum valde diamagnetica sunt, Spathum ferricum est valde paramagneticum et Magnesia carbonica nostra, ob ferrum — sine dubio sub forma Spathi ferrici — immixtum, uti hoc, paramagnetica est. Axis crystalli utriusque paramagnetici polis adtrahitur, axis utriusque diamagnetici repelli-

tur. Porro axis Glaciei diamagneticae, cuius refractio est positiva, magnete adtrahitur, quam adtractionem de immixtis substantiis alienis deducere non licet. Hinc concludas, directionem axis interverti, tum si substantiae natura paramagnetica in diamagneticam transit, tum si crystalli indoles optica transmutatur; ita ut in crystallis diamagneticis et negativis, paramagneticis et positivis invenias repulsionem, attractionem vero in crystallis diamagneticis et positivis, paramagneticis et negativis. Quod quidem re vera et in crystallis supra memoratis, et in Beryllo, Molybdate plumbico, Zircono, Mica uranica aliisque crystallis observatur. At vero tali hypothesi contradicit non solum animadversio, quam in extrema parte nostrae commentationis (25) proferemus, verum etiam quod observavimus in Vesuviano, Dioptasio, Turmalino, Acetate cupro-calcico, Sulfate denique nicolico. Omnia haec corpora sunt paramagnetica, quod quidem in quattuor prioribus ferro immixto tribuere liceat, in ultimo autem ipsius natura efficit. Quam caute tibi hisce in rebus procedendum sit, ne immixtae substantiae alienae te in errorem inducant, ex eo intelliges, quod Spathum calcarium, e variis locis petitum, mox diamagneticum, mox paramagneticum sese praebet, et utrobique eius axis modo adtrahitur, modo repellitur; ex eo porro videbis, quod quum experimenta, ab illustrissimo Faraday in Stibio et Arsenio instituta, primo repeterem, illud quidem diamagneticum inveni, ut ipse Faraday, hoc autem paramagneticum; in utroque vero non, quam Faraday repererat, adtractionem, sed potius repulsionem observavi. In hoc et similibus casibus veram naturae legem conditiones abnormes obscurare et occulere videntur. Exspectabis quidem sive meam theoriam accipias sive clarissimi Tyndall, distantia et dispositione particularum minimarum iisdem manentibus, fore ut nova crystallum dirigens actio eadem ratione crescat, qua in illis particulis magnetismus specificus augetur. Sed, si anomalias supra prolatas spectas, non miraberis, in corporibus quibusdam crystallisatis, refractionem duplicem praebentibus, novam actionem megneticam non inveniri. Quod accidit in Quarzio, Arsenate kalicò, Ferro-Kalio cyanato flavo, et in sale duplice quod ex hoc et ex Ammoniaco hydrochlorico constat.

17) Relictis crystallis uniaxibus, ad biaxes transeamus, phaenomena praebentes multo magis etiam digna, quae accuratissime observentur et explanentur. Et primo quidem loco eos tractabo, quibus tres axes crystallographici inaequales sibique invicem perpendiculares sunt. Quorum varias formas e prismate rhombico recto derivare licet. Staurolithum elegi exhibentem formam prismatis hexagonalis, non quidem regularis, ut Turmalini, sed e prismate rhombico, desectis aciebus acutis, derivati. Quam quum inter polos horizontaliter suspendissem, multo

validius eam dirigi vidi, quam sub iisdem conditionibus Turmalinum. Postero die, quum aliquot familiaribus meis actionem illam ostendere vellem, experimentum eventu caruit. Omni autem dubitatione de valida actione remota, non potui quin huius rei causam detegerem. Actio scilicet, qua Staurolithus, horizontaliter suspensa, polis sollicitatur, e situ pendet, quem prismatis plana diagonalia tenent. Accedit, quod Staurolithus etiam perpendiculariter suspensa dirigitur; quam rem in Turmalino nunquam reperies. Omnia haec et quae in crystallis eiusdem systematis observantur, ita explicui, ut *in quavis eorum particula duos axes magneticae inductionis* ponerem, qui polis exercerentur; initio quidem tales *axes magneticos* repelli statui, postea aut repelli aut adtrahi probavi.

18) Quodsi crystallum rhombicum ita suspendis, ut unus e tribus axibus crystallographicis perpendicularis fiat, reliquorum alter directionem aequatorialem, alter axialem petit. In hac procedendi via sex casus distinguendi sunt, in schemate sequente dispositi, quo in schemate litterae α, $\varkappa$, λ denotant axem prismatis, lineam diagonalem minorem, lineam diagonalem maiorem.

Si perpendiculariter suspendis lineam

	α	$\varkappa$	λ	α	$\varkappa$	λ
	invenies					
	aequatorialem			axialem		
1	$\varkappa$	α	α	λ	λ	$\varkappa$
2	λ	α	α	$\varkappa$	λ	$\varkappa$
3	$\varkappa$	α	$\varkappa$	λ	λ	α
4	$\varkappa$	λ	$\varkappa$	λ	α	α
5	λ	λ	α	$\varkappa$	α	$\varkappa$
6	λ	λ	$\varkappa$	$\varkappa$	α	α

Ne autem in variis istis casibus observandis fallaris, talis crystalli forma efficienda est, ut eius directio cum illa non congruat, quae e sola natura paramagnetica aut diamagnetica[1] ipsius substantiae evadat.

In unoquoque illorum sex casuum directionem crystalli duplice modo explicare licet, ut aut duos axes ponas, qui repellantur, aut duos axes, qui adtrahantur. Duo axium paria, quae hoc modo obtines, in diversis planis principalibus crystalli sunt sita; duorum parium lineae mediae, quae axium angulos acutos dimidiant, cum axibus crystallographicis diversis congruunt. Quae quum ita sint, numerus variorum casuum fit duplus; quadruplus autem numerus evadit, 24 scilicet, si insuper conditionem crystallorum aut paramagneticam aut diamagneticam respicis.

19) At quomodo distingues, utrum axes adtrahantur an repellantur? Hac de re nullum dubium esse potest, si crystallo unus tantum axis magneticus est, ipsa forma crystallina determinatus. Sin autem axis positionem ignoras, in dato fragmento eum magnetis ope invenire simulque decernere licebit, utrum adtrahatur, an repellatur. Sit, exempli causa, fragmento forma prismatis, cuius axis cum axe magnetico non congruat. Tale fragmentum ita suspensum inter polos, ut horizontaliter oscillare possit, vario modo dirigitur, si, antequam oscillet, plus minusve circa axem suum horizontalem rotatus sit. Certa vero rotatione facta, prisma ita dirigitur, ut hic axis positionem aut axialem aut aequatorialem teneat. Tum quidem axis magneticus in plano verticali, aut axiali aut aequatoriali situs est, i. e. aut adtrahitur aut repellitur. Si prisma autem angulo $\frac{1}{2}\pi$ rotaveris, ita ut, una cum plano illo, quod modo verticale erat, axis magneticus horizontalis fiat, axis iste eo determinatur, quod sive axialem, sive aequatorialem positionem petit. Quodsi vero prisma non angulo $\frac{1}{2}\pi$, sed angulo quolibet ψ graduum rotaveris, formula sese offert:

$$\operatorname{tang} \varphi = \sin \psi \operatorname{tang} \omega,$$

qua, — denotante ω angulum constantem, qui ab axe prismatis et axe magnetico includitur — angulum φ obtinebis, quo axis prismatis quovis modo rotati a directione aut axiali aut aequatoriali declinat.

Quae de uniaxibus crystallis diximus, ad biaxes statim applices, si unico axi duorum axium lineam mediam substituas. Ita inventa in fragmento quolibet talis crystalli linea media, ubi examinavisti, utrum ea polo adtrahatur an repellatur, crystallum ita suspende, ut haec linea perpendicularis fiat. Certam positionem crystallum petere videbis; quo facto, planum axium magneticorum eo definitur, quod cum plano verticali aut aequatoriali aut axiali congruat, prout una cum axibus linea media aut repellatur aut adtrahatur. Utrum angulus axibus inclusus maior an minor sit, prae ceteris etiam ex intensitate, qua crystallus ita suspensus dirigatur, concludes. Quo angulo evanescente, crystallus non dirigitur.

20) Quae praecedunt, sufficiunt ad determinandum ex casibus 24 supra enumeratis eum, cui crystallus rhombicus datus adscribendus sit. Num re ipsa omnes hos casus invenias, dubitari potest; forte autem accidit, ut, omissis quatuor crystallis (Topazio, Sulfate et Chromate magnesicis, Sulfate kalico), qui novam actionem perspicue non ostendunt, octo crystalli, quos una cum clarissimo Beer plane examinavi, totidem casibus inter se diversis respondeant. Habent axes magneticos attractos Staurolithus, Sulfas nicolicus, Plumbo-Kalium cyanatum (postea examinatum), quae sunt corpora paramagnetica, et Sal Seignettei, Sulfas

zincicus, qui sunt diamagnetici. Habent autem axes repulsos Ferro-Kalium cyanatum rubrum, quod est paramagneticum, et Acidum citricum, Arragonita, Anhydrita, quae sunt corpora diamagnetica.

Plana et lineae mediae axium, cum magneticorum tum opticorum, congruunt in Acido citrico et Sulfate nicolico; lineae mediae, non plana, congruunt in Arragonita et Ferro-Kalio cyanato; nec lineae mediae nec plana congruunt in quatuor ceteris crystallis a nobis examinatis.

Quantacunque igitur est casuum varietas, nunquam tamen crystallum invenias, cuius axes magnetici non in aliquo trium planorum principalium siti sint, nec lineam mediam habeant cum aliquo axium principalium congruentem. Hac igitur ratione axes magnetici opticis analogi sunt.

21) Sed ad crystallos clinorhombicos nos convertamus. In quo genere notissimum est, axes duos opticos aut in plano symmetriae, quo talis crystallus praeditus est, aut in quodam plano ei perpendiculari sitos esse. Quod idem etiam ita exprimas, ut aliquem trium axium elasticitatis, maximae, mediae, minimae, cum linea plano illi perpendiculari congruere, duos reliquos autem in ipso plano sitos esse dicas. In crystallis accuratius a nobis examinatis invenimus, axes duos magneticos similem positionem ac opticos habere. Variae autem observationes sese obtulerunt, quae hic memorentur, dignissimae.

Duo crystalli, Sulfas ferricus et Acidum succinicum, quibus axes sunt optici inter se perpendiculares, quos hanc ob causam nec positivos nec negativos appellare licet, unum tantum axem magneticum habent. Hic axis unicus congruit cum axe maximae elasticitatis, qui angulum axium opticorum, in plano symmetriae sitorum, dimidiat; in Sulfate ferrico, qui est paramagneticus, adtrahitur, in Acido succinico, quod est diamagneticum, repellitur. In Diopsido et in Acetate cuprico, qui sunt positivi et paramagnetici, duo axes optici plano symmetriae continentur: duos etiam axes magneticos invenimus, qui polis repelluntur. In Diopsido duo hi axes ita in plano symmetriae siti sunt, ut linea eorum media cum linea media axium opticorum congruat; in Acetate cuprico autem in basi prismatis rhombici obliqui, quae plano symmetriae perpendicularis est, reperiuntur. Duos etiam crystallos, ambos diamagneticos, accuratissime examinavimus, quorum axes optici plano continentur, quod plano symmetriae perpendiculare est. In Sulfide natrico scilicet, qui crystallus positivus est, planum symmetriae duos axes magneticos continet repulsos. In Borate natrico autem, qui est crystallus negativus, unicus axis magneticus nobis se obtulit, polis attractus atque cum axe minimae elasticitatis congruens. Talis axis

an duobus axibus parvulum angulum includentibus par censendus sit, nescio.

22) Restat denique ut de crystallis triclinicis agamus, quorum tres summa cum cura observavimus. Non ignoras, nullam esse certam relationem inter formam eorum crystallinam et axes opticos: nullus etiam nexus inter illam et axes magneticos apparet.

Bichromas kalicus inter omnes crystallos solus est, qui tali modo polis exercetur, ut frustra studuerimus, actionem uno aut duobus axibus suppositis explicare. Quamquam non omnino negamus, explicationem, quam unius aut duorum axium magneticorum ope dedimus, omnem aliam interpretationem non excludere, tamen ex eo, quod modo enarravimus, non festinanter concludendum est, eam hic reiiciendam esse. Etenim si crystallo alicui duo essent axes magnetici, inter se perpendiculares, methodum supra expositam frustra ad eos determinandos applicaremus.

In Sulfate cuprico, qui, etsi summam in eo purgando operam posuimus, semper paramagneticus prodibat, determinavimus duos axes magneticos adtractos: linea media eorum cum uno axium opticorum congruit, planum, quo continentur, accurate indicatum invenies Ann. LXXXII, p. 63 [Abhandl. 17, S. 240].

Cyanites denique omnium omnino crystallorum, si proprietates magneticas spectas, longe notatu dignissimus videtur. E magno numero Cyanitarum valde magneticorum primo loco crystallos simplices elegimus, in quibus axes magneticos, qui adtrahuntur, ratione formae crystallinae habita, indicavimus. Quo facto, crystalli gemini, qui vulgo tribus quidem modis diversis conformati inveniuntur, quomodo polis exerceantur, praedicere licet [Abhandl. 17, S. 239].

Crystallus simplex, non geminus, ad libellam suspensus, sola magnetismi terrestris actione dirigitur, ita ut veram acum magneticam repraesentet. Talis autem acus plerumque meridianum magneticum non petit. Nam quum angulus, linea media axium magneticorum et axe prismatis inclusus, circa 42^0 sit, ex arbitrio tuo acus declinationem quamlibet, sive occidentalem sive orientalem, 42 gradus non excedentem, indicabit.

23) Hae observationes etiam demonstrant, crystallum Cyanitem polaritatem suam magneticam chalybis instar retinere. Crystallos autem quam inter polos suspendissem, prius etiam, polaritate praeditos repperi; unde conclusi, crystallum polaritatem, quae magnete valde augetur, inductione magnetismi terrestris, dum formaretur, adipisci. Hisce rationibus commotus, experimentis probavi, magnetismum etiam in crystallis formandis aliquid valere [Abhandl. 12, Nr. 11]. Bismuthum scilicet

liquefactum, dum inter polos quam lentissime refrigeratur, talem structuram crystallinam nansciscitur, ut planum fissilitatis aequatoriale, axis principalis evadat axialis. Sed hic locus non est hac de re longius disserere.

24) Respicientibus nobis disquisitiones huc usque prolatas atque generales conclusiones, quae ex illis deducantur, quaerentibus, sane confitendum est, multum abesse, ut quaestio ad finem perducta sit, quantoscunque progressus hoc quinquennio fecerit. Si singula persecutus fueris, facile intelliges, quanta cura oporteat, observationes similes quidem, sed e variis principiis emanantes, disiungi, observationes autem ex uno fonte profluentes componi; nec negabis, summopere cavendum esse, ne e serie phaenomenorum nondum satis completa temere lex generalis statuatur. Attamen noli hanc ob causam nimis timidus esse; potest enim error in tempore detectus etiam prodesse, quum in ipso anquirendi studio saepissime ad novas perducamur veritates.

25) In magnetismi doctrina, sicut in omni physices disciplina, singulae perscrutationis viae ad principalem illam quaestionem, quomodo corpora e particulis minimis composita sint, ducunt. Quam rem recentissime theoria luminis magnopere illustravit. In primis illud cognitum est, non licere, e proprietatibus opticis crystallorum dispositionem particularum minimarum, densitatem, elasticitatem directo derivare. Etenim celeritas luminis propagati etiam ex tempore pendet, quo particula aetheris oscillationem perficit. Unde insuper sequitur, situm axium opticorum ex eodem tempore pendere ideoque pro variis coloribus varium esse, ita ut illi axes cum axibus magneticis protinus comparari non possint. Si luminis motum soli aetheri tribuis, cuius elasticitas crystalli particulis mutatur, nonne inductionem magneticam ad has ipsas particulas referendam censes? Fortasse etiam aether, cuius ope actio magnetica in distantiam propagatur, hac in re alicuius momenti est. Sed quamdiu haec omnia ignoramus, nulla spes est, fore ut cuncta phaenomena memorabilia, de quibus hac in parte Commentationis disseruimus, theoria generali complecti possimus.

Forsitan prope est, ut nobis contigat hanc quaestionem solvere, quae sane non minoris ponderis est, quam Newtoniana lex attractionis universalis. Id si acciderit, non amplius incerti erimus de natura luminis, caloris, electricitatis, magnetismi. Interim nihil negligamus, quod tangit intimam constitutionem praecipue crystallorum, quorum esse videtur hanc rem illustrare. Iam enim theoria admirabilis uno vinculo omnia illa phaenomena luminosa crystallorum comprehendens, connexum inter haec phaenomena et crystallorum structuram enucleavit. Vidimus crystallos etiam magnetica phaenomena nova ac notabilia exhi-

bere. Quae phaenomena quum idem valeant ac luminosa gravissima et dignissima habenda sunt, quae maxima cura perquirantur. Adhuc quidem summam illam quaestionem de intimo corporum structura impediunt et involvunt. Sed historia doctrinarum physicarum docet, eiusmodi quaestiones maxime obscuras et intricatas plerumque esse, donec simplici lege inventa solvantur ac tenebrae dissipentur.

De conditione magnetica gazorum.

26) Illustrissimus Faraday in gravissima commentatione, qua de universali corporum conditione magnetica agit, etiam corpora aëriformia non omisit. Quae etsi tubulis inter polos suspensis inclusa examinavit, tamen magnete ea exerceri non vidit. Anno sequente quum eiusdem viri rationem persequerer, oppido miratus, quantula ferri portio magnete indicaretur, flammam alcoholi, sale ferrico tinctam, inter polos introducere institui, ut flamma magnete adtracta ferrum cognoscerem. Diario meo tum haec verba inscripsi: „flamma certo non attrahitur, imo potius repellitur.“ Flammae repulsionem, non exspectatam, magneti esse attribuendam me fugit, quamquam eam meis ipse oculis vidi. Bancalari igitur magnetis in flammas actionem detexit. Primus deinde Zantedeschi hasce observationes mense Octobri 1847 repetit, nihil autem, quod ipsam quaestionis naturam attingeret, novi adiecit. Communicavit phaenomena cum Academia Parisiensi et cum Faraday.

27) Splendidissima illa phaenomena ex eo oriri, quod magnes etiam substantias aëriformes exerceat, nemo non per se intelliget. Faraday igitur, flammis variis examinatis, statim gravissimam quaestionem magnetismi gazorum aggressus est. Atque via, qua Faraday hisce in experimentis processit, haec est. Gazum aëre gravius super polos, veluti liquorem graviorem in leviorem, effudit, infraque vasis, apte in plano aequatoriali dispositis, recepit. Gazum levius autem, quod inter polos ascendebat, super polos simili modo collegit. Facta chemica analysi eorum, quae vasa post magnetis actionem continebant, discernere potuit, utrum gazum polos fugeret, an adiret. Ita Faraday probavit, solum Oxygenium polos adire, omnia alia gaza autem eos fugere.

Ego etiam tum temporis gravitate commotus phaenomenorum, quae reverendo Bancalari debemus, quaestionem magnetismi gazorum aggressus sum. Examinavi flammas Hydrogenii, Sulfuris, Phosphori, Alkoholi, Olei terebynthini, candelarum e sebo, cera, stearino confectarum. Olei terebynthini autem flamma, apparatu convenienter disposito, splendidissimum phaenomenon praebuit, dum fumus una cum flamma repulsus, in

plano aequatoriali curvam parabolicam formans ascendit. Deinde examinavi gaza colorata Chlorum et Acidum nitrosum atque vapores Iodi, Bromi, Hydrargyri, aquae. Quod ad gaza invisibilia spectat, methodum ab ea, quam Faraday secutus est, diversam adhibui. Quum scilicet variis gazis refringibilitas sit diversa, alterum altero circumdatum ita fit visibile, ut radios solares transire iubeas. Tum enim umbrae in papyrum album proiectae motum gazi circumdati ante oculos ponunt. Procedendi viam distincte descripsi una cum dispositione apparatus, qua demonstratur, aërem calefactum in aëre libero ascendentem polos fugere [Abhandl. 4, Nr. 55]. Eodem vero tempore, de illustrissimi Faraday observationibus certior factus, non operae pretium esse censui novis experimentis ea confirmare, quae ad liquidum ab illo essent explorata.

28) Faraday quum primo corporum magnetismum perquireret, tubulum variis fluidis impletum ita inter polos suspendit, ut alio fluido magnetico circumdatum libere oscillare posset. Tali ratione exposuit, quantum fluidum circumfusum valeret ad mutandam actionem, qua tubulus moveretur. Theoria mathematica quam hisce de rebus postea explicui, dilucide ostendit, adtractionem, qua corpus paramagneticum polis afficiatur, quippe quod medio aut paramagnetico aut diamagnetico circumdatum est, diminui aut augeri, ea scilicet quantitate, quae attractioni aut repulsioni medii illius partis, quae corpore remota sit, aequivaleat. Simili ratione repulsio corporis diamagnetici aut augetur aut diminuitur, si medio aut paramagnetico aut diamagnetico circumdatum est [Abhandl. 14].

29) Quae cum ita sint, ex supra enumeratis experimentis tantummodo concludi potest, Oxygenium primum locum tenere, si varia gaza ita disponas, ut omne, quod praecedat, aut magis paramagneticum aut minus diamagneticum sit, quam quod sequitur. Non autem discernendum est, omnia ne gaza sint paramagnetica, an omnia diamagnetica, an partim paramagnetica partim diamagnetica; neque in hoc ultimo genere confinium paramagneticorum et diamagneticorum gazorum indicare licet. E. Becquerel quidem de hac re non dubitandum esse putavit, quippe quod corpora diamagnetica omnino non essent; quo adductus est, ut vacuum magis esse paramagneticum statueret quam Bismuthum, et quidem eadem quantitate, qua nosmet ipsi diamagnetismum huius metalli metimur. Sed nos hanc sententiam non probavimus, imo potius quaestionem nondum solutam censuimus. Quapropter novam excogitavi rationem, quae tamen in errorem me induxit. Festinantius enim conclusi, quum phaenomena observata male interpretarer, aërem vase contentum magnete dilatari, diamagneticum igitur esse. Ipse hunc errorem retractavi; principium autem institutae a me me-

thodi verum et certum erat. Gaza, dum inter polos aut diamagnetice aut paramagnetice inducuntur, simul aut dilatantur, aut comprimuntur. Sed postquam docui, quomodo Oxygenii magnetismus accuratissime metiendus esset, compressionem aëris, quam inde deducas, tam exiguam esse demonstravi, ut omnem oculorum aciem fugeret.

30) E. Becquerel principio illo, quod Faraday de mediis circumfusis enuntiaverat (28), ad gazorum magnetismum cognoscendum ingeniose usus est. Carbonis cylindrum enim, Oxygenio circumdatum, more consueto inter polos suspendit, eumque, Oxygenio absorpto penetratum, directionem axialem petere vidit. Librum Coulombii ad Oxygenii magnetismum specificum metiendum adhibuit.

31) Equidem non iam dubitavi inductionem paramagneticam Oxygenii statuere, praesertim quum ipse observaverim, modo mox explicando (34), eadem plane ratione, qua maior quantitas oxygenii a carbone pulverato absorberetur, magnetis actionem augeri. Talia experimenta frequentius et accuratius instituere maxime mihi ex re esse videtur. Quantam enim magnetismi copiam inveniri censes, si pulvisculum Platinae sphaerae vitreae imponatur et Oxygenio imbuatur? Nempe constat, hoc modo Oxygenium in minorem quam centesimam voluminis partem cogi. Aliquot grammatis opus esset, ut, magnete nostro adhibito, Oxygenii adtractionem vinceres.

32) Illustrissimi Faraday erat, nulla admissa hypothesi, naturam magneticam gazorum demonstrare. Duas scilicet sphaeras aequales in extrema parte baculi suspendit, qui media sua parte extremitati vectis perpendiculariter affixus et pondere aequilibratus, filo librae Coulombianae ferebatur. Apparatum ita disposuit, ut duae illae sphaerae utrimque a polis aeque distantes libere secundum lineam aequatorialem moveri possent. Sphaeras ambas, aut vacuas aut aëre impletas, non moveri vidit; postquam autem in alteram Oxygenium, in alteram aërem aut quodlibet gazum intulit, illam polos adire, hanc fugere observavit. Idem accidit, quum hanc sphaeram vacuam adhibebat; unde actionem, quam observaverat, ad adtractionem Oxygenii referendam esse recte censuit. Hoc modo conditiones magneticas singulorum gazorum determinare et inter se comparare licuit. Magnetismum Oxygenii multo validiorem obtinuit quam ceterorum gazorum; quae, nisi Oxygenium mechanice immixtum continerent, magnete non distincte exerceri observavit.

33) Quis magnetismum Oxygenii detexerit, patet ex iis, quae huc usque exposuimus. Nimirum Bancalari primus flammam repulsam vidit, sed rationem ignoravit; nam fugerat eum, repulsionis illius hanc esse causam, quod aër ob Oxygenium contentum magnete adtraheretur.

Experimenta exeunte anno 1847 et ineunte sequente a Faraday et a me ipso instituta nihil nisi differentiam actionis indicant, qua duo quaelibet gaza exercentur, non autem magnetismum specificum exhibent singulorum gazorum, immo ne certo quidem modo naturam aut paramagneticam aut diamagneticam probant. Itaque experimentis demum E. Becquerel magnetismum Oxygenii deduxit, medii circumfusi lege adhibita. Nulla autem hypothesi praemissa, Faraday eum patefecit. At venerando Zantedeschi, qui magnetismum Oxygenii a se detectum esse vult, nullo modo assentior. Negari quidem non potest, indefessum illum naturae scrutatorem iam anno 1848 Oxygenium reliquis corporibus paramagneticis praeposuisse, sed nullo experimento nulloque argumento opinionem suam fulcivit. Non prius quam anno 1852 in libello suo *Memorie di fisica* Oxygenii magnetismum ex eo derivavit, quod saepissime corpus per se diamagneticum fieret paramagneticum, si cum Oxygenio chemice coniungeretur. In exemplo, cuius mentionem fecit, rem non confirmatam inveni. Nempe ille Acidum stibiosum (Sb_2O_3) dixit esse diamagneticum, Acidum stibicum (Sb_2O_5) autem ob maiorem quantitatem Oxygenii paramagneticum. Nos vero ambo acida, quorum stibiosum e stibico, solo calore adhibito, praeparavimus, diamagnetice quidem, sed non eadem vi induci reperimus; prodiit nobis scilicet pro magnetismo specifico Acidi stibiosi numerus 0,00010, Acidi stibici 0,00009, ita ut huius acidi inductio diamagnetica Oxygenio adiecto debilitata quidem sit, non autem in paramagneticam transformata. Sed ponamus observationes, quas dixi, recte se habuisse, tamen ipsum, quo reverendus vir usus est, argumentum nihil valet. Quod quo certius intelligatur, sufficiat Oxygenii compositionum cum Nitrogenio mentionem facere (37). Eodem libello Zantedeschi primo methodum exposuit a se in examinanda gazorum natura magnetica adhibitam: quae methodus ab illa nullo modo discrepat, quam ipse quatuor annos ante excogitavi ac descripsi (27).

34) Sed ad rem redeamus. Quum novae a Faraday indicatae rationis successum cognossem, ad libram reverti, qua iam antea in magnetismo specifico corporum fluidorum et solidorum metiendo felicissime usus eram. Quod exspectaveram, plane confirmatum est. Ut enim librae ope pondus gazorum terminare solemus, ita hodie, illa adiutrice, etiam magnetismum specificum gazorum metiri licet. Qua processimus via, eam in commentatione [Abhandl. 18] fusius explicatam invenies. Libra usi sumus e vitro confecta, quae decimam partem milligrammatis perspicue indicavit. In libra suspendebatur sphaera vitrea, epistomio munita, cuius ope et vacuam eam servare et gazum includere licuit. Quae sphaera, quamquam tenuissima, tamen duplici pressioni atmo-

sphaericae resistere potuit, ita ut gazum triplo densius quam sub pressione ordinaria in eam inducere liceret. Pressione ordinaria autem Oxygenium ea contentum ponderis 0,0560 gr. erat. Prospere evenit, ut sphaera vacua nullo modo magnete nostro exerceretur, quod eo accidit, ut magnetismus vitri, e quo confecta erat, magnetismo aëris, qua circumdabatur, exacte compensaretur. Ita fieri non potuit, quin magnetismum, quem observaveram, sphaera aliquo gazo impleta, huic soli gazo tribuerem. Quum sphaerae Oxygenium, sive compressum sive dilatum, induxissem, sex Grovianis elementis adhibitis, magneticam attractionem inveni, quae circiter tertiae parti ponderis Oxygenii aequivalebat. Ita probavi, magnetismum eadem ratione accrescere, qua Oxygenium comprimeretur.

35) Quum eodem modo examinarem Nitrogenium, Chlorum, Cyanum, Oxydum carbonicum, Acidum carbonicum, Oxydulum nitricum, Aetheris sulfurici vapores, nulla vestigia conditionis paramagneticae aut diamagneticae, ne compresso quidem statu, observavi. Certo si magnetismus aderat, centesimam partem Oxygenii non attigit. Repulsio perexigua obtinebatur, si sphaera vel Hydrogenium vel Hydroidum (quod postea examinavimus) continebat; hinc gaza ista diamagnetica censeas. Aër et gaza cum Oxygenio mixta, si de approximatione tantum agitur, eadem ratione, qua illud continent, magnetica reperiuntur, nihilominus tamen parvas differentias semper invenimus, ut magnetismus observatus maior prodiret, quam calculo, ratione compositionis gazorum habita, derivaretur. Insuper ubique observavimus et gazorum cum Oxygenio mixtorum attractionem magneticam eadem ratione augeri, qua comprimerentur.

36) Uti corporum solidorum, ita etiam Oxygenii et aeris magnetismum, temperatura crescente, diminui Faraday putavit. Eadem sententia etiam mihi saepius attributa est, sed nullo iure. Ab initio enim quum Oxygenii et aëris calefacti minorem magnetismum praecipue dilatationi deberi viderem, hanc quaestionem intactam reliqui. Si de magnis temperaturae incrementis agitur, difficillimum est, eam modo certo solvere. Inter fines angustiores autem magnetismum Oxygenii e temperatura notabili modo non pendere, obiter ita probavi, ut examinarem sphaeram nostram, Oxygenium compressum continentem, et dum temperatura eius erat circa 24° C., et postquam aliquot gradibus infra punctum glaciale descendit.

37) Omnium gazorum, quae examinentur, dignissima ea sunt, quae e compositione chemica Oxygenii et Nitrogenii oriuntur [Abhandl. 20]. Mirum videatur, magnetismi indicia omnino nos fugere, si Oxygenium cum Nitrogenio ita componatur, ut Oxydulum N_2O inde prodeat. Pari

modo nec Oxydum nec Acidum carbonicum minima magnetismi vestigia praebuerant. Non exspectabam igitur, Oxydum nitricum NO magnetice exerceri, sed nihilominus id valde paramagneticum inveni. Magnetismus ipsius Oxydi eum fere attigit magnetismum, quem obtineres, si Oxygenium et Nitrogenium, quae illud constituunt, non chemice composuisses, sed tantummodo miscuisses. Quam compositionem maior copia Oxygenii magneticam reddidit. Iam si in sphaeram nostram Oxydum nitricum continentem gradatim certas quantitates Oxygenii infers, gazum primitivum, dum coloratur, in Acidum nitrosum N_2O_3 transformatur, quo constat salia effici posse. Quod Acidum, aucta Oxygenii quantitate, rursus in Acidum hyponitricum N_2O_4 transit. Pro ratione illati Oxygenii magnetismus gazorum, quae sphaera continet, gradatim diminuitur, ita ut, si volumina aequalia spectas, magnetismus Acidi nitrosi fere quartam partem magnetismi Oxydi amiserit; magnetismus omnino evanescit, si quantitas inducti Oxygenii tanta est, ut Acidum hyponitricum formetur, rursus autem apparet, si nova portio Oxygenii accedit. Eius intensitas hac sola portione Oxygenii addita, quod cum Acido illo mixtum consideres licet, deduci potest. Si in sphaeram Oxygenium continentem gradatim Oxydum nitricum infers, contraria via ad eundem finem pervenies. Animadvertamus denique, Acidum nitricum N_2O_5, Oxygenio uberrimum, diamagneticum esse, quales etiam habendi sunt eius vapores, etiamsi propter tenuitatem eorum repulsionem demonstrare non licet.

Ex iis, igitur, quae modo exposuimus, sequitur, de natura compositionis chemicae Oxygenii et alius gazi nihil certi praedici posse.

38) Consideranti mihi, quam certa et accurata esset nostra magnetismi metiendi methodus, persuasum fuit, eadem via datam esse magnetismum Oxygenii cum magnetismo ferri comparandi copiam. Itaque in sphaeram nostram gazum, deinde solutionem Chlorati ferrici intuli et, adtractione utrobique determinata, Oxygenii magnetismum cum magnetismo solutionis comparavi. Tum vas apte formatum eadem illa solutione et pulvisculo ferrico cum sebo et cera mixto implevi, ut similiter solutionis magnetismum cum Ferri magnetismo compararem. Quumque in eodem vase Ferri et Oxygenii magnetismum comparare non licuisset, e duplice illa computatione Oxygenii magnetismum specificum deduxi. Numerum inveni:

$$0{,}003500,$$

ei quem Faraday approximatione invenit satis respondentem. E. Becquerel obtinuit numerum decies fere minorem: 0,000377.

Recentissime in commentatione [Abhandl. 24] iam supra memorata probavi, variorum corporum magnetismum specificum e magnetis indu-

centis intensitate pendere. Unde sequitur, ut numerus noster certae magnetis intensitati adhibitae respondeat et in computando magnetismo specifico novae ineantur rationes.

39) Notissimum est, magnetismum Chalybis indurati a magnetismo Ferri eo distingui, quod chalybs difficilius magneticus fiat, magnetismo autem imbutus validius eum retineat. Miraberis fortasse, si doceo, Oxygenium et alia gaza magis magnetica, quorum particulae facillime moveri possint, sese ut chalybem induratum, non autem ut ferrum, habere. Sed observationibus haec res comprobata est. Etenim sphaera nostra Oxygenium continens, in libra suspensa et super polos aequilibrata, Electromagnetis nostri magnetismo sex elementis Grovianis excitato, adtrahitur, et pondere 0,0170 gr. opus est, ut a polis removeatur. Pondere autem circiter 0,00200 gr. adhibito, si subito polaritatem commutaveris, sphaera, quae huc usque polis imposita erat, eos fugit, certa tamen distantia consistit et denique ad polos redit. Hoc modo ea quinquies sexiesve oscillabit, polis iusto tempore iterum et iterum commutatis. Experimentum etiam variare poteris, ubi sphaeram adtractam commutatione facta polis ita repelli iusseris, ut ad eos non redeat. Quomodo autem haec phaenomena explicari posse existimas, nisi Oxygenium polaritatem, quam ab initio, ipso Electromagnete inducente, nactum sit, non subito amittere statuas? Sed haec hactenus.

Scrib. mens. Iun. a. 1854.

26.

Beiträge zur näheren Kenntniss des Wesens der sogenannten Coërcitivkraft.

(Annalen der Physik und Chemie, Bd. 94, S. 28—42, 1855. Übers. von Nr. 1) bis 10) in Philosophical Magazine (4) IX, S. 518—522, 1855.)

1) In meiner früheren Abhandlung*) habe ich nachgewiesen, dass der Magnetismus, welcher durch (paramagnetische oder diamagnetische) Induction in den verschiedenen Substanzen hervorgerufen wird, nicht der inducirenden Kraft proportional ist, sondern in jeder einzelnen Substanz nach einem besonderen Gesetze einem Maximum, dem Sättigungspunkte, sich nähert. Ich habe auf empirischem Wege gezeigt, dass für jede der von mir untersuchten Substanzen der inducirte Magnetismus, nachdem die Einheit der inducirenden Kraft angenommen, sich durch Hülfe zweier von einander unabhängiger Constanten bestimmen lässt. Die eine dieser beiden Constanten habe ich *Inductions-*, die andere *Widerstandsconstante* genannt. Wenn sich für eine Substanz ergeben sollte, dass die Widerstandsconstante Null wäre, so würde für diese Substanz der inducirte Magnetismus der inducirenden Kraft proportional wachsen und dann die Empfänglichkeit derselben für Magnetismus bloss durch die Inductionsconstante angezeigt werden. Der inducirte Magnetismus der von mir untersuchten Substanzen (Nickel, Kobalt, Eisen, Eisenoxyd, Nickeloxyd, Phosphor, Sauerstoffgas, Kobaltoxydhydrat) bleibt immer, und zwar in sehr verschiedenem Maasse, hinter jener Proportionalität zurück, um so mehr, je grösser die Widerstandsconstante, der *Widerstand* ist.

Die wenigen Bestimmungen, welche bereits vorliegen, liessen es mir als wahrscheinlich erscheinen, dass für diejenigen Substanzen, welche, nachdem die inducirende Kraft, der sie ausgesetzt waren, aufgehört hat auf sie zu wirken, einen namhaften Theil des in ihnen her-

*) Ueber das Gesetz der Induction bei paramagnetischen und diamagnetischen Substanzen. Annalen, Bd. 91, S. 1—56. [Abhandl. 24.]

vorgerufenen Magnetismus festhalten, die Widerstandsconstante verhältnissmässig klein ist, in der Art, dass der Magnetismus solcher Substanzen, wenn die inducirende Kraft wächst, rascher zunimmt und langsamer dem Sättigungspunkte sich nähert.*) Was gehärteten Stahl im Vergleich mit weichem Eisen betrifft, so konnte ich an der Richtigkeit dieser Behauptung im Allgemeinen nicht zweifeln. Es war dieselbe durch einen einfachen Versuch, dessen ich schon vor einer Reihe von Jahren erwähnte, nachgewiesen; dadurch nämlich, dass zwei in ihrer Mitte kreuzweise verbundene Stäbe, ein dickerer von Stahl, ein dünnerer von Eisen, so aufgehängt, dass sie in der Horizontalebene frei schwingen können, dann, wenn sie allmälig einem stärkeren Magnetpole genähert werden, anfänglich nach der Axe des Eisenstabes, später nach der Axe des Stahlstabes sich richten. [Siehe Abhandl. 23, Art. 27, Werke II, S. 301.] Nur fehlten Zahlen, die ich aus diesem Versuche nicht ableiten konnte. Die in der angeführten Abhandlung von mir untersuchten festen Körper hatten sämmtlich die Pulverform. Es schien mir daher sehr wünschenswerth, in einer anderen Weise, welche gestattete, Eisen und Stahl in massiver Form zu untersuchen, die obige Frage zur direkten Entscheidung zu bringen.**)

---

*) Citirte Abhandlung, S. 54 [S. 364.]

**) Wie früher vielfach, so ist auch neuerdings noch — ich denke ohne mein Verschulden — meine Auffassungsweise missverstanden worden. Die Schlussstelle eines ausführlichen Auszuges, durch welche der Herausgeber des „*Institut*" wohlwollend den Inhalt meiner oben citirten Abhandlung zur weiteren Verbreitung gebracht hat, lautet:

> „*Mr. Plücker incline à penser que les substances retiennent d'autant plus facilement le magnétisme acquis, qu'elles opposent moins de résistance à l'aimantation. Quand on considère les deux substances les plus magnétiques, telles que le fer et l'acier, cette opinion parait peu probable; car le fer s'aimante plus rapidement que l'acier et il perd aussi plus rapidement son fluide quand l'aimantation cesse.*" 22. Mars, 1854.

Das Missverständniss beruht auf der Bedeutung, welche dem Worte „Widerstand" untergelegt wird. Das Wort hat an und für sich *keine* Bedeutung, weil wir das Wesen der magnetischen Erregung nicht kennen: es bedarf einer Definition. Nehmen wir in Körpern, die eine stärkere Coërcitivkraft haben, einen Widerstand an, der überwunden werden muss, bevor die magnetische Erregung eintritt — eine Voraussetzung, deren Unstatthaftigkeit ich vollständig nachgewiesen zu haben glaube — so muss auch im Stahle ein grösserer Widerstand als im Eisen angenommen werden, um die Thatsache zu erklären, dass bei wachsender Induction der Magnetismus im Stahle in rascherem Verhältnisse als im Eisen wächst. Ich habe früher mich selbst in diesem Sinne ausgedrückt, aber bei näherem Eingehen in den Gegenstand diese Ausdrucksweise, um dieselbe Thatsache zu erklären, geradezu umkehren müssen. (Vgl. die 24. Nummer der cit. Abhandlung.) In Substanzen, die mit einer stärkeren Coërcitivkraft begabt sind, scheint, was nachzu-

2) Ich liess zu diesem Ende einen Eisenknopf (A) und drei Stahlknöpfe (B, C, D) von möglichst übereinstimmender Form und Grösse anfertigen, die letzten drei möglichst stark härten, dann den ersten derselben (B) blau, den zweiten (C) gelb anlaufen, während der dritte (D) seine vollständige Härtung behielt. Diese drei Knöpfe waren aus demselben vorher genau abgedrehten Stabe vom feinsten englischen Stahle geschnitten und an einem Ende genau halbkugelförmig abgerundet und polirt. Ihre Dicke betrug 8^{mm}, ihre Länge mit Ausschluss des am anderen Ende befindlichen, zum Behuf der Aufhängung mit einer kleinen Oeffnung versehenen Hakens 14^{mm}, ihr Gewicht ungefähr 6,3 gr. Aus demselben Stahlstabe wurden noch kleinere Stäbe E geschnitten, 53^{mm} lang, an beiden Enden ebenfalls genau halbkugelförmig abgerundet und gehärtet. Der Eisenknopf (A) wurde aus einem Stabe weichen Eisens von gleicher Dicke genommen, und aus demselben Eisenstabe wiederum ein kleinerer, den eben erwähnten Stahlstäben E an Länge und Form gleicher Eisenstab F geschnitten.

3) Es wurden fünf Reihen von Abwägungen vorgenommen, um die Gewichte zu bestimmen, welche nothwendig waren, um die verschiedenen Knöpfe bei gleicher Aufhängung von inducirenden Magnetpolen, die verschieden stark waren, abzuziehen. Für die drei ersten Reihen von Abwägungen wurden drei der Stahlstäbe E genommen und mit Sorgfalt verschieden stark magnetisirt. Dann wurden diese Stäbe nach einander in einem Fusse durch Schräubchen in senkrechter Stellung befestigt und hierauf die verschiedenen Knöpfe nach einander an einem Balken einer Waage gleichmässig aufgehängt, äquilibrirt und durch allmälige Belastung des anderen Balkens von dem oberen Pole des jedesmaligen magnetisirten Stahlstabes, den sie nur in einem Punkte berührten, abgezogen. Bei der ersten Reihe von Abwägungen, bei welcher die Knöpfe von dem schwächsten Pole abgezogen wurden, bediente ich mich der feinen Geissler'schen Glaswaage, und das zum Abziehen erforderliche Gewicht wurde durch einen Reiter von Platin, der auf dem anderen Waagebalken fortgerückt wurde, bestimmt. Bei der zweiten Reihe, bei welcher die verschiedenen Knöpfe von dem Magnet-

weisen ist, die Widerstandsconstante geringer zu sein, das heisst, es scheint sich diesen Substanzen der Proportionalität der Zunahme des Magnetismus mit der Zunahme der inducirenden Kraft weniger Widerstand entgegen zu setzen. Hiermit ist also keineswegs gesagt, dass in Substanzen, die nur schwachen Magnetismus annehmen, darum der Widerstand gross ist. Wollte man aber dennoch in diesem Sinne den Widerstand auffassen und definiren, so wäre dadurch nichts gewonnen, weil Widerstand dann nichts anderes bedeutete, als den reciproken Werth des inducirten Magnetismus.

stabe mittlerer Stärke in gleicher Weise nach einander abgezogen wurden, diente dieselbe Waage; aber die Stärke der Anziehung wurde dadurch bestimmt, dass auf die am anderen Waagbalken hängende Schale ein Schiffchen von Papier gebracht und in dieses so lange, bis das Abziehen erfolgte, aus einer engen Oeffnung trockener Sand geschüttet wurde. Das Schiffchen mit dem Sande wurde nach jeder Bestimmung auf einer anderen Waage gewogen. Bei der dritten Reihe von Abwägungen musste die Glaswaage durch eine grössere chemische Waage ersetzt werden; die Bestimmungen wurden wie bei der zweiten Reihe gemacht, nur dass schon vorher Gewicht aufgelegt wurde, bevor man den Sand zuschüttete.

Bei den beiden letzten Reihen von Abwägungen wurde der grosse Elektromagnet angewandt, indem auf einer Polfläche desselben ein sehr stumpfer Kegel, dessen Basis mit dieser Polfläche gleichen Durchmesser hatte, und dessen Spitze abgerundet war, aufgesetzt wurde. Die Knöpfe wurden an einem Arme einer gewöhnlichen Waage aufgehängt und senkrecht von der abgerundeten Spitze des Kegels, nachdem die am anderen Arme hängende Schale zuvor bis nahe dem Abreissen belastet worden war, durch zugelegte feine Schrotkörner abgezogen. Der Elektromagnet wurde einmal durch ein einziges unserer gewöhnlichen Grove'schen Elemente erregt, das andere Mal durch eine Kette von *sechs* solcher Elemente.

4) Versuchsreihe I.

Die Zahlen bedeuten die in Grammen ausgedrückten, zum Abziehen erforderlichen Gewichte; die neben einander stehenden beziehen sich auf die unmittelbar wiederholten Bestimmungen mit demselben Knopfe. Die Aufeinanderfolge der Abwägungen bei Anwendung der verschiedenen Knöpfe bezeichnet die erste Verticalcolumne, in welcher die Substanz des jedesmaligen Knopfes bezeichnet ist.

Weiches Eisen	0,395 gr.	0,395 gr.	
Blauer Stahl	0,33 „	0,34 „	
Gelber Stahl	0,26 „	0,27 „	
Glasharter Stahl	0,120 „	0,125 „	
Gelber Stahl	0,26 „	0,27 „	0,28 gr.
Blauer Stahl	0,35 „	0,34 „	
Weiches Eisen	0,415 „	0,405 „	

5) Versuchsreihe II.

Weiches Eisen	2,60 gr.	2,70 gr.
Blauer Stahl	2,10 „	2,20 „

Gelber Stahl	1,80 gr.	1,80 gr.
Glasharter Stahl	1,00 „	1,00 „
Gelber Stahl	1,70 „	1,60 „
Blauer Stahl	2,00 „	2,10 „
Weiches Eisen	2,55 „	2,65 „

6) Versuchsreihe III.

Die Anziehung der verschiedenen Knöpfe durch den stärksten der drei Stahlmagnete wurde zwei Mal an verschiedenen Tagen bestimmt.

Weiches Eisen	35,8 gr.	36,0 gr.	35,9 gr.	36,4 gr.
Blauer Stahl	29,8 „	29,9 „	30,7 „	29,2 „
Gelber Stahl	25,4 „	25,8 „	25,8 „	25,0 „
Glasharter Stahl	18,0 „	18,1 „	19,0 „	18,5 „

Weiches Eisen	34,0 gr.	34,9 gr.	35,0 gr.	
Blauer Stahl	29,2 „	29,8 „	30,2 „	
Gelber Stahl	24,2 „	24,7 „	24,1 „	
Glasharter Stahl	17,9 „	18,2 „	18,6 „	
Weiches Eisen	35,2 „	34,9 „	36,0 „	34,5 gr.

7) Versuchsreihe IV.

Weiches Eisen	205 gr. +	131 gr. 131 „ 127 „ 124 „
Blauer Stahl	295 „ +	3 „ 2 „ 2,5 „
Gelber Stahl	255 „ +	7 „ 5 „ 6 „
Glasharter Stahl	230 „ +	2,5 „ 2,3 „ 3,0 „ 5,8 „
Weiches Eisen	325 „ +	7,6 „ 4,5 „ 4,7 „
	305 „ +	22 „ 25 „

8) Versuchsreihe V.

Weiches Eisen	1553 gr.	+	{21 gr., 18 „, 19 „}
Blauer Stahl	1423 „	+	{24 „, 9 „, 12 „}
Gelber Stahl	1233 „	+	{20 „, 6,5 „, 6,5 „, 4 „}
Glasharter Stahl	1133 „	+	{15,5 „, 14,5 „, 18,5 „}
Weiches Eisen	1543 „	+	28 „
Gelber Stahl	1233 „	+	{16 „, 16,5 „}

In den beiden Versuchsreihen IV. und V. bedeuten die voranstehenden grösseren Zahlen die aufgelegten, das Abreissen noch nicht bewirkenden Gewichte, und die kleineren nach den Klammern die in den unmittelbar auf einander folgenden Bestimmungen zugelegten Schrotgewichte.

9) Wenn wir aus sämmtlichen einzelnen Bestimmungen jeder Reihe für jeden Knopf die Mittelwerthe nehmen, so ergiebt sich die folgende Zusammenstellung[1]):

	Glasharter Stahl	Gelber Stahl	Blauer Stahl	Weiches Eisen
I.	0,1225 gr.	0,268 gr.	0,340 gr.	0,403 gr.
II.	1,000 „	1,725 „	2,10* „	2,625 „
III.	{18,4 „, 18,2 „}	{25,5 „, 24,3 „}	{29,9 „, 29,7 „}	{36,0 „, 34,6 „}
IV.	233 „	261 „	298 „	331 „
V.	1149 „	1245 „	1438 „	1572 „

Hieraus ergeben sich endlich, wenn wir die Anziehung, welche der Knopf von glashartem Stahle erfährt, gleich Eins setzen, für die Anziehung der drei anderen Knöpfe die in der folgenden Tabelle zusammengestellten Verhältnisszahlen.

	Gelber Stahl	Blauer Stahl	Weiches Eisen
I.	2,18	2,78	3,29*
II.	1,72	2,10*	2,62

	Gelber Stahl	Blauer Stahl	Weiches Eisen
III.	1,39*	1,63	1,96
	1,34	1,63	1,90
IV.	1,12	1,28	1,42
V.	1,084	1,25	1,37

10) Diese Zusammenstellung weist, was zu erwarten stand, in schlagender Weise nach, dass der Stahl, je härter er ist, einerseits zwar durch Induction um so schwächer magnetisch wird, andererseits aber bei wachsender inducirender Kraft in um so rascherem Verhältnisse an Magnetismus zunimmt. Wir sehen, dass bei starker Kraft der bis zum gelben Anlaufen angelassene Stahl nicht viel stärker angezogen wird als der glasharte, mehr als doppelt so stark aber bei schwacher Kraft; dass das magnetische Verhalten des blau angelaufenen Stahles den Uebergang bildet zum magnetischen Verhalten unseres weichen Eisens. Dieses wird bei der schwächsten von uns angewandten Kraft $3^1/_3$, bei unserer stärksten Kraft nur $1^1/_3$ Mal so stark angezogen, als der glasharte Stahl.

11) Aus den Anziehungen, die unsere Knöpfe durch die verschiedenen Magnetpole erleiden, können wir nicht auf die hierbei stattfindenden inducirenden Kräfte selbst zurückgehen und diese unter einander vergleichen. Um so weniger lassen sich diese mit denjenigen vergleichen, die bei den Bestimmungen der oben citirten Abhandlung angewendet worden sind. Ich habe es hier vorgezogen, mich überall nur eines einzigen inducirenden Poles zu bedienen, während ich früher, um grössere Kräfte zu erhalten, immer zwei einander genäherte auf die zu untersuchenden Substanzen wirken liess.

12) Ich erwähne hier nicht aller Rücksichten, die genommen worden sind, um die vorstehenden, den Verhältnissen nach vollkommen befriedigenden Resultate zu erhalten. Nur einen Punkt kann ich nicht ganz unerörtert lassen, den Umstand nämlich, dass die verschiedenen Stahlknöpfe nach dem Grade ihrer Härtung mehr oder weniger Magnetismus dauernd behalten. Durch drei Zwischenstufen hindurch steigt die Anziehung, die der gehärtete Stahlknopf erleidet, um nahezu das 10000fache. Bei dieser raschen Zunahme scheint das magnetische Residuum, das die Stahlknöpfe behalten, in unserem Falle ohne Weiteres vernachlässigt werden zu können, wo wir bei den Bestimmungen von dem schwächsten Pole anfangend zu den stärkeren allmälig fortgegangen sind. Der umgekehrte Gang hätte unbrauchbare Zahlen geliefert. Aus demselben Grunde wurde für den inducirenden Pol der verschiedenen Magnete immer der gleichnamige, der Südpol genommen.

Um die Grösse des magnetischen Residuums, das in den verschiedenen Knöpfen nach der Inducirung durch unseren stärksten Pol zurückblieb, einigermaassen anschaulich zu machen, füge ich noch die nachstehenden Bestimmungen hinzu. Es wurde schliesslich der bereits früher (2) erwähnte Eisenstab *F*, wie in den drei ersten Versuchsreihen die gleichen Magnetstäbe *E*, vertical aufgestellt, und vermittelst der feinen Waage das Gewicht bestimmt, mit welchem die verschiedenen Knöpfe an dem oberen Ende des Eisenstabes hafteten. Dieser Stab selbst haftete an anderem weichen Eisen nicht mit einer messbaren Kraft. Der Eisenknopf zeigte schon ein magnetisches Residuum; um ihn abzuziehen, war ein Gewicht erforderlich, das bis zu einem Gramm anstieg. Für den blau angelaufenen, den gelb angelaufenen und den glasharten Stahl fand der Assistent des physikalischen Kabinets, Herr Th. Meyer, dem ich bei der grossen Fertigkeit, die er sich in solchen Bestimmungen erworben hat, die Abwägungen überliess, die folgenden Zahlen:

Blauer Stahl	11,5 gr. 11,7 „ 12,0 „
Gelber Stahl	20,3 „ 20,4 „ 20,2 „
Glasharter Stahl	24,6 „ 24,7 „ 24,5 „

was die Mittelwerthe 11,7 gr., 20,3 gr. und. 24,6 gr. giebt. Das Verhältniss dieser Zahlen ist, wenn die inducirende Kraft, welcher die Knöpfe ausgesetzt waren, geringer ist, offenbar ein anderes.

---

13) Um dahin zu gelangen, dass wir die Coërcitivkraft verschiedener Substanzen messen und vergleichen können, schien mir der erste Schritt der zu sein: solche Zahlen zu bestimmen, welche angeben, wie sich die Stärke des in einer gegebenen Substanz durch eine bestimmte Induction hervorgerufenen Magnetismus zu der Stärke desjenigen verhält, der, nachdem die Induction aufgehört hat, noch zurückbleibt. Obgleich einstweilen meine Bemühungen in dieser Beziehung ohne Erfolg geblieben sind, so scheint es mir doch hier schon am Orte, einige Beobachtungen, die mir auf dem Wege zu obigem Ziele begegnet sind, mitzutheilen.

14) Es ist eine längst beobachtete Thatsache, dass zwei gleichnamige Magnetpole bei gegenseitiger Berührung nach Umständen sich

anziehen. Ich nahm zwei vorher magnetisirte Stahlstäbe (E), von denen ich den einen wiederum in verticaler Lage befestigte und den anderen, wie früher die Stahlknöpfe, an der feinen Glaswaage aufhing. Beide Stäbe berührten sich in einem einzigen Punkte ihrer kugelförmigen Abrundungen und zwar mit gleichnamigen Polen. Bei der Berührung zeigte sich eine entschiedene, nicht augenblicklich in ihrer ganzen Kraft eintretende Anziehung selbst auch dann, wenn die beiden gleichnamigen Pole nach oberflächlicher Schätzung gleich stark erschienen. Diese Anziehung bestand nach einer Entfernung der beiden Pole von einander noch fort, nahm mit derselben allmälig ab, um sich in einer Entfernung von etwa einem Millimeter in Abstossung zu verwandeln, welche ihrerseits, wenn die Pole immer weiter von einander entfernt wurden, ein Maximum erreichte und hierauf bis zum Verschwinden wieder abnahm.

Diese Erscheinungen erklären sich dadurch, dass in einem Stabe, der permanent magnetisch ist, die entgegengesetzte Polarität, von Störungen abgesehen, zu beiden Seiten der Mitte symmetrisch sich verbreitet; dass aber, wenn die beiden gleichnamigen Pole inducirend auf einander wirken, diese Induction sich nicht auf den ganzen Stab verbreitet; dass der stärkere der beiden Pole den schwächeren aufhebt, umkehrt, diese Umkehrung der Polarität sich aber nicht weit nach der Mitte des Stabes hinzieht, so dass sich in der Nähe des Endes des schwächeren Magneten ein schwacher consecutiver Punkt bildet, der mit der Entfernung des inducirenden stärkeren Poles sich wieder verliert. Diese Wiederherstellung des ursprünglichen magnetischen Zustandes erscheint als Folge einer *inneren Induction*, welcher ebenfalls der Zustand der ursprünglichen symmetrischen magnetischen Vertheilung zuzuschreiben ist.

Ich glaube, man kann a priori behaupten, dass, wenn die Intensität der beiden gleichnamigen, inducirend auf einander einwirkenden Pole, und ebenso auch die Coërcitivkraft der beiden Stäbe, mathematisch genommen, gleich ist, keine gegenseitige Anziehung stattfinden könne. Die Intensität zweier gleichnamigen Pole, welche das Bestreben haben, sich gegenseitig umzukehren, ist offenbar eine wenig stabile, und wenn ein Pol einmal anfängt den anderen zu überwältigen, so überwältigt er ihn ganz und erhält seine ursprüngliche Polarität, die momentan geschwächt war, wieder. Die obige Behauptung findet sich aber auch durch das Experiment bestätigt, denn als ich den stärkeren der beiden nahe schon gleich starken Magnetpole auf dem gewöhnlichen Wege allmälig schwächte, gelangte ich dahin, dass bei unmittelbarer Berührung die gegenseitige Anziehung der beiden Pole immer kleiner wurde und in Abstossung überging.

Während ich die Grösse dieser Abstossung gleich starker gleichnamiger Magnetpole zu messen mich bemühte, wurde ich durch eine zufällige Beobachtung überrascht. Bei derselben Ajustirung wie früher ergab sich nun bei unmittelbarer Berührung eine Abstossung von etwa 0,2 gr., und um den oberen Magnetstab wieder bis zur Berührung mit dem vertical stehenden zu bringen, belastete ich den Arm der Waage, an welchem er hing, mit einem Gewichte von etwa 0,3 gr. Es wurde darauf von den Umstehenden, noch deutlich vernehmbar in einer Entfernung von einem Meter, ein helles Tönen vernommen, von dem ich sogleich erkannte, dass es von einem Oscilliren des aufgehängten Magnetstabes herrührte. Die Oscillationen folgten sehr rasch auf einander und waren so klein, dass sie nur durch Hülfe einer Lupe sichtbar wurden. Nach mehr als einer Viertelstunde dauerte das Tönen noch fort und auch nach 24 Stunden (während welcher der Apparat unberührt blieb) wurde dasselbe noch wahrgenommen, wobei ich allerdings nicht mit absoluter Gewissheit behaupten kann, ob nicht eine durch das Hinneigen des Ohres zum Apparate hervorgebrachte Erschütterung des denselben tragenden Tisches die Erscheinung von Neuem eingeleitet hatte. Es konnte diese keineswegs auf die Elasticität der beiden Stäbe zurückgeführt werden. Denn zwei ganz gleiche unmagnetisirte Stäbe von demselben Stahle, die unter denselben Bedingungen sich befanden, zeigten die Erscheinung nicht, sondern der obere derselben kam, wenn er durch eine Erschütterung in Oscillation gesetzt wurde, fast augenblicklich wieder zur Ruhe. Als ich dieselben Stäbe darauf stärker magnetisirte, konnte ich die beobachtete auffallende Erscheinung nicht wieder hervorbringen, dies gelang mir aber bei schwachen, gleich starken Polen nach sorgfältiger Ajustirung immer wieder von Neuem; nur musste sie meistens durch eine Erschütterung eingeleitet werden und dauerte nicht unbegrenzt fort.

Die Bedingungen für diese Erscheinungen sind offenbar, dass einerseits in einer kleinen Entfernung das Uebergewicht die magnetische Abstossung überwinde und den oscillirenden Magneten zu dem feststehenden herabdrücke, während andererseits bei der unmittelbaren Berührung die Abstossung grösser ist als das Uebergewicht, und der Magnet also wieder gehoben wird.[2])

Die folgenden Beobachtungen finden ihre unmittelbare Erklärung in der Coërcitivkraft des Eisens.[3])

Der grosse Elektromagnet, dessen ich mich bediene, hat acht Lagen dicken Kupferdrahts um jeden seiner beiden Schenkel. Vier Lagen eines Schenkels waren zufällig ausser Thätigkeit, so dass die beiden Pole,

welche durch Anwendung eines Stromes von einem oder einigen Grove'schen Elementen hervorgerufen wurden, nicht gleich stark waren. Auf den beiden Polflächen befanden sich die beiden schweren Halbanker, mit den abgerundeten Seiten einander bis auf ein Paar Millimeter genähert. Sie waren mit einer Glas- oder Glimmerplatte bedeckt, und auf diese wurde eine grössere Menge von Eisenfeilspänen gebracht, die eine Brücke von einem Pole zum anderen bildeten. Wenn die Polarität durch einen Commutator umgekehrt wurde, so zeigte sich, *aber erst nach etwa zwei Sekunden*, eine auffallende Bewegung in der ganzen Masse der Eisenfeilspäne, die von dem stärkeren Pole ausging; eine Erscheinung, die bei jeder neuen Commutation in gleicher Weise sich wiederholte. Von dem, was mit den einzelnen Eisenfeilspänen vorging, gab ein kleiner Stift Auskunft, welcher auf der Platte abwechselnd an verschiedene Stellen oberhalb der abgerundeten Kanten der beiden Halbanker gebracht wurde.

Eine ganz hübsche Erscheinung zeigte sich, als ich nach der Angabe von Liebig und Wöhler bereitetes Eisenoxyd-Oxydul in einem hohen Glase mit dünnem Boden, in Wasser suspendirt, über die wie oben genäherten beiden Halbanker brachte. Das feine Pulver (frisch bereitet) blieb so lange im Wasser suspendirt, dass noch nach beiläufig einer Viertelstunde das Wasser dadurch schwärzlich gefärbt erschien. Oberhalb der beiden Pole, aber erst ein paar Sekunden *nach* Erregung des Magnetismus, zog sich fast augenblicklich das Pulver herab und das Wasser erhielt seine ganze Klarheit wieder.

Ich liess einen Anker construiren von derjenigen Form, wie sie bei den magneto-elektrischen Apparaten vorkommt, mit einer Axe, die durch eine Schwungmaschine in Bewegung gesetzt werden konnte. Die beiden mit Kupferdraht umwickelten Schenkel waren 65^{mm} hoch, 35^{mm} dick, der Abstand ihrer Mitten betrug 120^{mm}. Vermittelst Federn, welche an der Axe anlagen, wurde ein durch ein oder zwei Grove'sche Elemente erregter Strom durch den Kupferdraht geleitet, und dann der Anker um seine Axe in rotirende Bewegung gesetzt, so dass die beiden Pole in ihrer Bewegung auf derselben kreisförmigen Bahn einander folgten. Während der Bewegung wurden Eisenfeilspäne auf eine horizontale Glasplatte gestreut, welche unmittelbar oberhalb der Polflächen sich befand. Die Eisenfeilspäne legten sich in einen Kreis, dessen Mittelpunkt in die Umdrehungsaxe fiel. Der Durchmesser des Kreises war dem inneren Abstande zwischen den beiden Schenkeln des Ankers gleich, so dass er der geometrische Ort für die Punkte der stärksten magnetischen Wirkung auf der Oberfläche der Platte war. Die Eisen-

feilspäne bewegten sich auf diesem Kreise *in einer Richtung, welche der Drehungsrichtung des Ankers entgegengesetzt war.*

Bei sehr geringer Umdrehungsgeschwindigkeit folgen die Eisenfeilspäne unmittelbar den Polen; sie werden, wenn dieselbe nur wenig zunimmt, fortgeschleudert.

Wenn der Strom in der Art durch den Draht geleitet wird, dass in den beiden Schenkeln des Ankers *gleichnamige* Polarität auftritt, so muss man, um die oben beschriebene Erscheinung zu erhalten, die Umdrehungsgeschwindigkeit bedeutend vermehren.

Eine Halbkugel von Eisen, 7^{mm} Durchmesser, mit ihrer abgerundeten Seite, während der Magnet rotirt, auf die Glasplatte gelegt, bewegt sich auf dem bezeichneten Kreisumfange in derselben Richtung wie die Eisenfeilspäne, gleichzeitig um ihre Axe rotirend.

27.

Action du magnétisme sur les axes des cristaux.

(Cosmos, revue encyclopédique des progrès des sciences, VII, p. 391—396. 1855.)

J'ai expliqué jusqu'ici les phénomènes curieux que présentent les cristaux, quand on les fait osciller entre les deux pôles d'un aimant, en adoptant l'hypothèse de deux axes magnétiques liés invariablement à la forme cristalline. J'ai regardé ces axes, approximativement du moins, comme les résultantes de l'induction soit paramagnétique, soit diamagnétique, exercée sur le cristal par les pôles. Ces axes, tantôt attirés, tantôt repoussés, m'ont fait distinguer des cristaux à axes positifs et des cristaux à axes négatifs.

Cette hypothèse, notablement modifiée à mesure que les faits se sont multipliés, m'a servi à donner une expression nette de l'action magnétique extraordinaire exercée par un aimant sur les cristaux des différents systèmes. Aucune observation faite par d'autres expérimentateurs et parvenue à ma conaissance n'était en contradiction avec ma manière de voir; il ne pouvait pas en être autrement tant qu'on n'opérait que sur des cristaux à un seul axe. Tout récemment cependant, des expériences nouvelles, que j'ai faites en août avec M. Beer, m'ont prouvé que la théorie des axes magnétiques, telle que je l'avais présentée jusqu'ici, ne saurait plus être maintenue. En l'abandonnant, ou plutôt en la reconstruisant de nouveau, rien n'est changé aux faits observés, seulement leur expression est devenue en même temps plus générale et plus simple.

Pour exposer succinctement ma nouvelle manière de voir, je prendrai pour exemple le cyanite ou ferro-cyanure rouge de fer et potasse, qui est paramagnétique. La forme de ce sel est controversée; nous adopterons ici celle du prisme droit à base rhombe, parcequ'elle est conforme à la manière dont ce sel se comporte tant sous le rapport optique que sous le rapport magnétique. Je désignerai par α l'axe du

prisme, et par $\varkappa$ et λ les deux diagonales de sa base, joignant l'une les angles oblus, l'autre les angles aigus.

Quand on suspend entre les deux pôles un prisme de ce sel successivement suivant les trois axes minéralogiques α, $\varkappa$ et λ, l'on voit le prisme se diriger avec énergie. Cette direction est telle que des deux de ces trois axes, qui oscillent librement dans le plan horizontal, l'un prend la position axiale, l'autre la position équatoriale. Le cristal étant suspendu

suivant α, c'est $\lambda[\varkappa]$ qui se dirigera axialement, $\varkappa[\lambda]$ équatorialement[1]),
„ $\varkappa$, „ λ „ „ „ „ α „
„ λ, „ $\varkappa$ „ „ „ „ α „

L'on en conclut que l'induction paramagnétique

suivant $\lambda[\varkappa]$ est plus grande que celle suivant $\varkappa[\lambda]$,
„ λ „ „ „ „ „ „ α,
„ $\varkappa$ „ „ „ „ „ „ α,

ce qu'on peut exprimer ainsi: $\lambda < \varkappa < \alpha \cdot [\varkappa > \lambda > \alpha]$.

Notre cristal se dirige donc entre les deux pôles (que nous supposons assez éloignés) comme le ferait un ellipsoïde de fer doux à trois axes inégaux a, b, c, suspendu successivement suivant ces trois axes. Et supposant $a > b > c$, il faut, dans le cas du cyanure de fer et de potasse, faire coïncider le plus grand axe a avec $\lambda[\varkappa]$, l'axe moyen b avec $\varkappa[\lambda]$, et le plus petit axe c avec α. L'éllipsoïde ainsi constitué est ce que nous appellerons désormais *éllipsoïde d'induction.*[2]) Un prisme naturel de notre sel suspendu horizontalement prend (contrairement à l'action paramagnétique ordinaire) la position équatoriale, et la retient de quelque manière qu'on le fasse tourner autour de son axe horizontal. Toutefois, dans les différentes suspensions la force directrice n'est pas la même, elle a son maximum, si le prisme est suspendu suivant $\varkappa[\lambda]$, son minimum, s'il est suspendu suivant $\lambda[\varkappa]$.

Si le prisme est réduit à une plaque par la diminution de sa hauteur, rien n'est changé dans la manière dont il se dirige entre les deux pôles, ses bases retiennet la position axiale, seulement; cette position est d'ailleurs celle que lui assigne dans ce cas l'action magnétique ordinaire, ce qui n'avait pas lieu pour le prisme.

Si dans l'expérience précédente on remplace la plaque employée par une autre taillée dans le cristal de manière qu'elle contienne les deux axes α et $\varkappa[\lambda]$, tout change. Suspendue verticalement, elle prendra une position inverse de celle que lui ferait prendre l'action magnétique ordinaire, c'est-à-dire la position équatoriale, comme si elle était repoussée par les pôles. Elle conservera cette position de quel-

que manière qu'on la fasse tourner autour de son axe horizontal $\lambda[\varkappa]$. Toutefois, la force directrice n'est pas constante, elle sera *maximum*, si son axe de suspension coïncide avec $\alpha[\lambda]$, *minimum*, si l'axe de suspension coïncide avec $\varkappa[\alpha]$.

Coupons en troisième lieu dans notre ferro-cyanure une plaque contenant les deux axes α et $\lambda[\varkappa]$, et suspendons-la entre les deux pôles de la même manière que dans les deux expériences précédentes. Alors nous la verrons prendre tantôt la position axiale, tantôt la position équatoriale. Quand on la fait tourner dans son propre plan, autour de l'axe horizontal $\varkappa[\lambda]$, on rencontre deux positions dans lesquelles la plaque passe de la direction axiale à la direction équatoriale, et réciproquement; ces positions répondent à deux axes de suspension, également inclinés sur $\lambda[\varkappa]$: autour de ces axes par conséquent il n'y a pas d'action magnétique extraordinaire. Je nommerai désormais *axes magnétiques* d'un cristal quelconque *les directions autour desquelles l'action extraordinaire disparaît.*

Les phénomènes que nous venons de constater, relativement à la manière dont le cristal se comporte sous l'influence de l'induction magnétique, se reproduisent identiquement quand nous lui substituons *l'éllipsoïde d'induction;* et les axes appelés par nous axes magnétiques du cristal correspondent aux deux diamètres de l'éllipsoïde perpendiculaires à ses sections circulaires.

Dans les dernières expériences que nous avons faites avec M. Beer, nous avons définitivement établi, comme il suit, la classification des cristaux en cristaux magnétiquement positifs et négatifs. Nous taillons dans le cristal à examiner un prisme droit, dont l'axe, situé dans le plan des deux axes d'induction *maximum* et *minimum*, fasse avec ces deux axes des angles de 45°. Suspendu horizontalement entre les deux pôles, un semblable prisme se place en général obliquement. Quand on le fait tourner autour de son axe, cet axe, restant toujours horizontal, décline des deux côtés de la ligne des pôles et atteint deux positions extrêmes faisant avec la ligne des pôles ou la ligne axiale un angle *maximum* ou *minimum* de 45°. Pour aller d'une position extrême à l'autre, l'axe du cristal passera tantôt par la position axiale, tantôt par la position équatoriale, suivant la nature du cristal; si le changement a lieu par la position axiale, je dis que le cristal est positif, l'angle de déclinaison des positions extrêmes est *maximum;* je l'appelle négatif quand le changement se fait par la position équatoriale, l'angle de déclinaison est minimum. Ainsi, puisque dans le cas du ferrocyanure rouge le passage a lieu par la position équatoriale, ce sel sera magnétiquement négatif. Dans notre nouvelle manière de voir, tout revient à dire que

dans les cristaux magnétiquement négatifs la ligne bissectrice de l'angle aigu des deux axes magnétiques coïncide avec l'axe d'induction *minimum*, tandisque dans les cristaux positifs, c'est l'axe d'induction *maximum* qui bissecte l'angle aigu des deux axes magnétiques. On constate ainsi, sans l'avoir cherché ni prévu, une analogie complète entre les deux axes magnétiques, déterminés par les trois axes d'induction, et les deux axes optiques, déterminés par les trois axes d'élasticité.

Dans le ferro-cyanure de potassium, le plan des deux axes magnétiques et leur ligne médiane coïncident avec le plan et la ligne médiane des deux axes optiques; seulement, l'angle formé par les deux axes magnétiques, qu'on déterminera facilement à quelques degrés près, est plus grand que celui formé par les axes optiques.

Si le cristal est diamagnétique, il n'y a rien de changé dans la détermination de ses axes magnétiques. C'est seulement le sens de l'induction qui s'intervertit, la position d'équilibre instable devenant la position d'équilibre stable, et vice versâ. L'on déterminera l'éllipsoïde d'induction diamagnétique comme on détermine l'éllipsoïde d'induction paramagnétique.

Pour les cristaux du système tesseral, les trois axes de l'éllipsoïde d'induction deviennent égaux entre eux. Il n'y a pas d'action magnétique extraordinaire.

Pour les cristaux dont la forme cristalline se réduit au rhomboëdre, au prisme hexagonal ou au prisme à base carrée, deux des trois axes de l'éllipsoïde d'induction deviennent égaux entre eux; l'axe inégal, plus grand ou plus petit que les axes égaux, est *l'axe magnétique unique.* Si l'axe inégal est le plus grand, il sera un axe magnétique positif ou attiré par les pôles, si la substance du cristal est paramagnétique, un axe magnétique négatif ou repoussé, si la substance est diamagnétique.[2]) Si, au contraire, l'axe inégal est le plus petit, l'axe sera positif si le cristal est diamagnétique, négatif si le cristal est paramagnétique. Dans tous les cas l'axe magnétique coïncide avec l'axe optique.

Pour les cristaux, dont la forme cristalline se réduit à un prisme droit à base rhombe, les trois axes de l'éllipsoïde d'induction magnétique coïcident, comme le font les trois axes d'élasticité optique, avec les trois axes minéralogiques principaux. Mais jusqu'ici on n'a découvert aucune loi générale à l'aide de laquelle on puisse déterminer les longueurs relatives de ces axes; de sorte que l'on ne peut ni déduire de la forme cristalline la position des axes optiques ou magnétiques, ni conclure de la position des axes optiques à celle des axes magnétiques.

Dans beaucoup de cas les axes magnétiques sont situés dans le plan même des axes optiques; dans d'autres cas les plans des deux systèmes d'axes sont perpendiculaires entre eux. Si l'on considère la position des axes magnétiques par rapport à la forme cristalline, on obtient six cas différents. Si, en outre, on fait entrer en ligne de compte la distinction d'une part entre les axes positifs et négatifs, d'autre part entre les substances paramagnétiques et diamagnétiques, le nombre des cas s'élève à 24.

L'examen que nous avons fait, M. Beer et moi, d'un grand nombre de cristaux, présente une telle variété dans la position des axes magnétiques, que nous sommes autorisés à penser que ces vingt-quatre cas existent effectivement dans la nature.

Pour les cristaux monocliniques possédant un plan et un axe de symétrie, les deux axes magnétiques sont situés ou dans le plan de symétrie même ou dans un plan perpendiculaire.

Dans ce dernier cas la ligne moyenne des deux axes magnétiques ou coïncide avec l'axe de symétrie perpendiculaire au plan de symétrie, ou se trouve situé dans ce plan. Ainsi dans tous les cas deux des trois axes d'induction sont renfermés dans le plan de symétrie; le troisième lui est perpendiculaire.

Si l'on suspend un cristal de manière que son plan de symétrie oscille verticalement, ce plan prendra toujours ou la position équatoriale ou la position axiale. Si le plan de symétrie est horizontal, le cristal se dirigera de telle sorte que des deux axes renfermés dans ce plan l'un soit axial, l'autre équatorial.

Ayant ainsi déterminé la direction des trois axes d'induction et leur ordre de grandeur, l'on trouvera les deux axes magnétiques en suivant la marche indiquée plus haut.

Dans les cristaux appartenant au système triclinique, la forme cristalline ne donne aucune indication sur la situation des deux axes magnétiques.

Je pense que la nouvelle manière de voir, que nous venons d'exposer, représente l'ensemble des phénomènes dépendant de l'action extraordinaire d'un pôle aimanté sur les cristaux. Poisson a donné, dans son second Mémoire sur la théorie du magnétisme, la distribution magnétique dans un éllipsoïde de fer doux, soumis à l'action d'un pôle éloigné. En partant de là l'on déterminera par le calcul la position d'équilibre que doit prendre un tel éllipsoïde sous des conditions données.

Si l'on opère sur des cristaux qui montrent assez énergiquement l'action magnétique extraordinaire, la forme qu'on leur donne n'a pas d'influence sensible sur la direction qu'ils prennent entre les deux pôles

éloignés. Un morceau d'antimoine cristallisé, par exemple, de forme quelconque, et suspendu de sorte que les plans de clivage soient verticaux, se dirigera constamment de la même manière. Un prisme droit ayant ces plans pour bases se placera, conformément à l'action magnétique ordinaire, de manière que l'axe magnétique négatif et perpendiculaire aux plans de clivage prenne la position équatoriale, et que par conséquent ces plans se placent eux-mêmes axialement. Une plaque terminée par deux plans de clivage d'un ou de plusieurs centimètres carrés de surface et aussi mince qu'on voudra, conservera la même position, contrairement à l'action diamagnétique ordinaire.

Un prisme oblique est forcé de ce placer obliquement entre deux pôles, pour que ses bases, que nous supposons toujours être des plans de clivage, prennent la position axiale.

La direction que prend le cristal entre les deux pôles assez éloignés ne dépendant pas de la forme extérieure qu'on lui donne, n'est-on pas en droit d'en conclure que cette direction serait encore la même si l'on arrivait aux dernières molécules magnétiques; en d'autres mots, *que la forme de ces molécules magnétiques est celle de l'ellipsoïde d'induction?*[2])

Cette idée ne serait pas nouvelle. Poisson l'a énoncée dans l'introduction de son premier *Mémoire sur la théorie du magnétisme;* elle a été abandonnée, évidemment parceque de son temps on désespérait de la voir vérifiée par l'expérience.

28.

On the Magnetic Induction of Crystals.

Philosophical Transactions, Vol. 148, II, S. 543—587. 1858. (Received March 26, — Read April 23, 1857.) Referat in Phil. Magazine, 1857, S. 477—480.)

Introduction.

In repeating Professor Faraday's experiments, by which he proved that magnetism is a universal agency of nature, to whose influence all bodies are subject, I observed in the year 1847 some strange anomalies, which I attributed to the peculiar structure of the bodies examined. Thus I was led to examine crystalline substances. Between the two poles of a strong electro-magnet I first suspended a plate of tourmaline, then a plate of calcareous spar; and I remarked that these plates, both taken from a polarizing apparatus, were acted upon in an extraordinary way, not dependent on their exterior shape, but solely on their crystalline structure. — Since these, my first observations, I have diligently investigated the magnetism of crystals, — this difficult subject of experimental and mathematical inquiry, — guided, as I was, by the conviction that the study of crystals would advance the theory of magnetism as it did previously the theory of light.

The experimental results relating to crystals of the different systems, which, in common with Professor Beer, I have hitherto obtained, are partly published in Poggendorff's Annalen. My intention here is not to complete the series of these results. In order to discover the true law of nature, I thought it more important to select, out of the great number of examined crystals, a few proper to be subjected to a closer examination: I chose red ferridcyanide of potassium, sulphate of zinc, and formiate of copper.

I had proposed in the earliest period of these researches an empirical law, intended to connect all observations concerning extraordinary magnetic action exerted on crystals not belonging to the tesseral

system. This law, modified subsequently according to new facts observed by Professor Faraday and myself, does hold with regard to uniaxal crystals having one principal crystallographic axis. Indeed such a crystal, like tourmaline and calcareous spar, when freely oscillating between the two poles, is directed by them exactly in the same way as if the forces resulting from the magnetic action on each particle of the crystal acted upon a fixed line within the crystal — its magnetic axis, — this axis being always forced either into the axial or into the equatorial plane. These conditions will be satisfied by conceiving the least particles of the crystal to be small magnetic needles, becoming magnetic by induction. Crystals of a more complicated structure, like those above mentioned, could not be brought under the same law; for these therefore I supposed *generally* two such magnetic axes. But here I became convinced that the proposed law does not hold when such crystals are examined in all directions, and not solely along peculiar ones. Hence nearly two years ago I finally abandoned an hypothesis against which serious doubts had for a long time arisen. For the hypothesis of one or two axes acted upon by the magnet, I substituted another similar hypothesis. In the case of uniaxal crystals, I now conceived an ellipsoid of revolution, consisting of an amorphous paramagnetic or diamagnetic substance, and having within the crystal its principal axis coincident with the principal crystallographic axis. It is easy to verify, that both crystal and ellipsoid, the poles of the magnet not being too near one another, will be directed between them exactly in the same way. In the generalization, an ellipsoid with three unequal axes, having within the crystal a determined direction, must be substituted for the ellipsoid of revolution. In this hypothesis too, we meet with magnetic axes. In the case of uniaxal crystals, the direction I formerly denoted by „magnetic axis" may also be defined as the direction within the crystal round which there is no extraordinary magnetic action. In the general case we get two such directions, which we shall also call *„magnetic axes"*, using this name in a different sense from that in which it was employed before. A crystal suspended along either of the two magnetic axes is acted upon like an amorphous body.

According to observation, a crystal under favourable circumstances is directed in the same way as the smallest of its fragments. Hence, according to our new hypothesis, the direction which each of its particles would take, when freely oscillating under the influence of a magnet, may be regarded as determined by an auxiliary ellipsoid. A quite analogous case is that of an amorphous ellipsoid of iron, for in-

stance, with three unequal axes, acted upon by an infinitely distant pole. Here also, according to Poisson's theory, we meet with an auxiliary ellipsoid upon which the pointing of the given one depends. The mode of verifying the existence of such an auxiliary ellipsoid, as well as the laws immediately resulting from it, is exactly the same in both cases. This double verification had the fullest, I may say, an unexpected success. I first proceed to the investigation of the case of Poisson's ellipsoid. Starting from a beautiful theorem lately published by Professor Beer, I was enabled to deduce immediately the analytical expressions, which subsequently I verified in the experimental way. I think this inquiry, in which too I enjoyed Professor Beer's valuable cooperation, will contribute to familiarize experimentalists more and more with the admirable theory, too long neglected, of the French mathematician.

The curious magnetic phenomena I first observed in crystals ten years ago being thus supported by an analytical theory, and the numerical results derived from this theory confirmed by new series of experiments, I take the liberty to lay before the Royal Society an account of my researches. According to the theory of the magnetism of crystals I now propose, the magnetic induction within a crystal is, like the elasticity of the luminiferous ether, determined by means of an auxiliary ellipsoid, which in both cases in similarly placed within the crystal. In both cases there are two fixed directions within it, the two *optic axes* along which there is no double refraction, and the two *magnetic axes*, round which there is no extraordinary magnetic induction. By means of the two optic axes you may obtain the direction of any wave of light entering the crystal, its plane of polarization, and its velocity of propagation. By means of the two magnetic axes, you may obtain, using analytical expressions of nearly the same form, the couple of magnetic forces acting upon a crystal, when suspended between the two poles along any direction whatever, the position of the crystal, and the law of its oscillations.*)

---

*) I think it scarcely necessary here to prove that the theoretical views imputed to me by Professor Tyndall (Philosophical Transactions, vol. cxlv. p. 2) are not mine, and never have been mine. I never ascribed the phenomena, first observed by myself, to a new force acting upon an ideal line, like the optic axis, quite independent of the paramagnetic condition of the mass of the crystal. Convinced, as I was from the beginning, that there ought to be analogies between the optic and magnetic properties of crystals, I never sought the reason for it anywhere else but in the influence of the crystalline structure on both the luminiferous ether and the magnetic induction. I no more intended to imply a real

I.

On the direction which biaxal crystals assume when suspended between the two poles along different lines, having a determined position with regard to the primitive form of such crystals.

1) In all the observations I shall describe in this section I made use of a large electro-magnet, excited by six of Grove's elements, whose pointed poles were at a distance from each other of 1,6 inch. The crystals, oscillating in the horizontal plane which passes through both poles, and equally distant from these poles, were attached to the double cocoon thread of the torsion balance by means of a hoop, without any other support.

2) *Red ferridcyanide of potassium* ($3KCy + FeCy_3$) is paramagnetic. I observed, in the year 1847, that any fragment of this salt, freely suspended between the two poles of an electro-magnet, does not point like an amorphous paramagnetic body. The poles being not too near one another, the direction the fragment takes does not depend on its exterior form, but solely on its interior crystalline structure.

---

repulsion or attraction of the optic axes, than the celebrated French philosopher, when he said a beam of light in positive crystals was attracted, in negative ones was repelled, intended to announce a mysterious action emanating in fact from these axes. Such expressions are intended to describe a newly observed fact, but not theoretical views. So also the true meaning of the German words, translated thus, „independent of the paramagnetic or diamagnetic condition of the mass of the crystal“, is only this, „whether the mass of the crystal (tourmaline and calcareous spar) be paramagnetic or diamagnetic, the direction of the axis is the same.“ If, notwithstanding these remarks, there should remain any doubt whatever, I can refer to a paper sent to the Haarlem Society, December 1849, before other philosophers, except Professor Faraday, had published anything about the magnetic induction of crystals. Starting from mechanical principles, I communicated in this paper a mathematical explanation of what I had observed, for instance, in the case of tourmaline, conceiving this crystal to consist of an infinite number of infinitely small needles, becoming paramagnetic by induction, and being all perpendicular to its axis (see Poggendorff's Annalen, lxxxvi. p. 1 [Werke II, Abhandl. 23, S. 307]). The physical conditions of the question, as there stated, seem to be the same as those which Professor Tyndall has also adopted in his memoir (p. 45). And though I have recently found reason to modify them, yet there is no trace to be found of the supposition imputed to myself, nor even of „the supposition that the assuming of the axial position proved a body to be magnetic, while the assuming of the equatorial position proved a body to be diamagnetic“ (p. 13). When there is an analytical expression, representing the resulting action exerted on a body, now attracted, now repelled, according to distance, it is in most cases mathematically legitimate to speak of two „conflicting forces“, by dividing the whole expression into two members, one of which represents an attractive, the other a repulsive force.

On account of this strong extraordinary magnetic action, the salt above mentioned appears to be peculiarly fit for exhibiting the phenomena and the laws of this action; the larger the crystals you obtain of this salt, the more easily they may be cut and worked.

We may regard a right prism with a rhombic base as the primitive form of our salt.*) There are three crystallographic axes perpendicular to each other, the axis of the prism (α), the shorter diagonal of its base ($\varkappa$), and the longer one (λ).

3) A crystal of ferridcyanide of potassium, suspended between the two poles in such a manner that its axis α becomes vertical and therefore its base horizontal, sets with energy $\varkappa$ axially (fig. 29). This axis $\varkappa$ remains similarly directed even when we reduce the original prism to a plate, by taking away its obtuse edges. Such a plate appears to be repelled by the two poles like a diamagnetic body, while a plate cut out of the same prism by grinding down its acute edges will be directed, the mode of suspension remaining the same, like a paramagnetic body, as in fact it is.

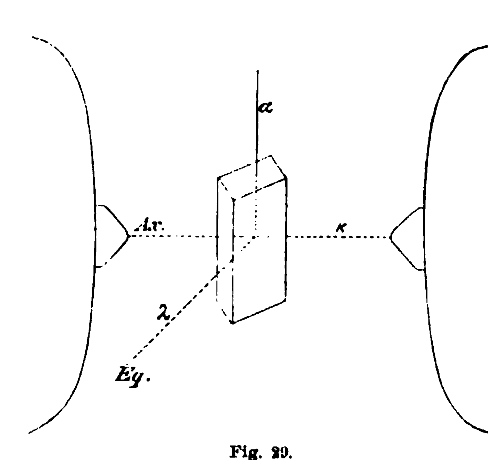


Fig. 29.

The same prism, suspended in such a manner that its axis α may oscillate between the two poles in the horizontal plane, points equatorially and seems to be repelled by the poles like a diamagnetic body. We can use in this experiment any natural prism with its summits, whose longest dimension is five or six times greater than its thickness; we may use also a small needle twenty or thirty times as long as it is thick.**) In

*) The primitive form of the salt is disputed. According to the prevalent opinion, we admitted, Professor Beer and myself, in a paper published some years ago, the clinorhombic system, not without some hesitation, as this opinion was neither supported by its magnetic nor its optic properties. I afterwards adopted, in conformity with the new measures recently made by M. Schabus of Vienna, the rhombic system. But again, Nörremberg's admirable new arrangement of Amici's polarizing microscope showing a minute difference between the two systems of rings round the optic axes, not seen in the original apparatus, the question is more doubtful than before.

**) Not knowing therefore the extraordinary magnetic action, one would be inclined to range our crystals among diamagnetic bodies, as really has been done.

all these cases the oscillating salt finds its position of stable equilibrium by setting itself equatorially. When we reduce the oscillating prism to a plate, by diminishing the dimension of its axis, such a plate, the axis α remaining horizontal, will point axially like an amorphous paramagnetic body.

4) When, always on the supposition of the axis α oscillating horizontally, the shorter diagonal of the rhombic base is vertical, the longer one points axially (fig. 30); when the longer one is vertical, the shorter one points axially. Hence, when any fragment of ferridcyanide of potassium is brought between the two poles, rotating round any one of its three crystallographic axes α, $\varkappa$, λ, this axis being vertical, one of the two remaining axes points axially, and consequently the other equatorially. There are not within the crystal any three other directions enjoying the same property. On this account the

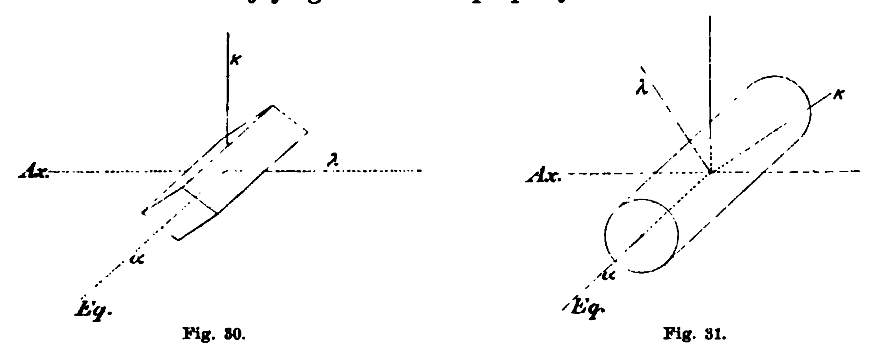


Fig. 30. Fig. 31.

three crystallographic axes may also, in the case of our salt, be called *the three axes of paramagnetic induction.* You may distinguish these three axes according to the strength of paramagnetic induction, this induction being in the present case *greatest* along $\varkappa$, *mean* along λ, and *least* along α.

5) When, 1st, we cut out of a crystal a cylinder with a circular base, whose axis is α, we may expect, that such a cylinder horizontally suspended will, when turned round its horizontal axis, retain in all its positions the *equatorial* direction (fig. 31). But the directing power emanating from the poles is not the same in the different positions of the rotating cylinder; it is greatest when $\varkappa$ is horizontal and λ vertical; it is least when λ is horizontal and $\varkappa$ vertical. While the cylinder rotates from the first to the second position, this power gradually diminishes.

When, 2nd, we cut out of the same crystal a cylinder whose axis coincides with the shorter diagonal $\varkappa$, such a cylinder, however you may turn it round its axis, supposed horizontal, will always point

axially. The position agrees with the paramagnetic condition of its substance. But, contrary to this condition, it retains invariably the same position, when, by diminishing its axis, the cylinder is transformed into a circular plate (fig. 32). Such a plate is repelled by the poles with different energy, this energy being greatest when α, and least when λ oscillates horizontally.

When, 3rd, we cut out of the crystal a circular cylinder with its axis parallel to λ, such a cylinder, when horizontally suspended between the two poles, points either equatorially (fig. 33) when α, or axially

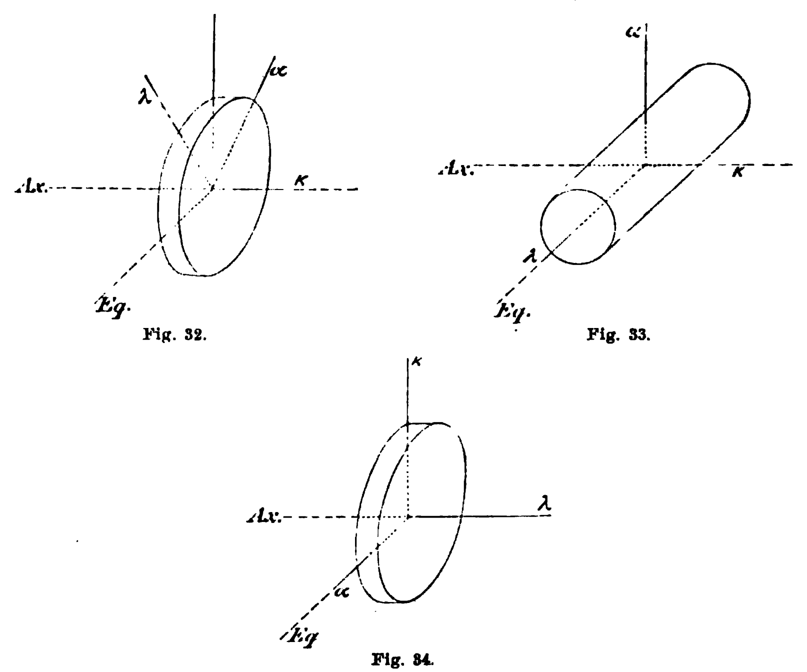


Fig. 32. Fig. 33.

Fig. 34.

when $\varkappa$ is vertical. When brought, by turning it round the horizontal axis λ, from the first position to the second, its directive power at first diminishes, till in a certain position it quite *vanishes;* and finally, when the cylinder has passed through this intermediate position, reappears and increases till the cylinder reaches the second position. The cylinder, when setting its axis equatorially, is directed contrary to the paramagnetic condition of its substance; when axially, in conformity with it. When, as before, we reduce the cylinder to a circular plate, the axis remaining the same, the change of direction, by turning the plate round its horizontal axis, takes place in the same way. But then in the first position the cylinder is directed like a common paramagnetic body, in the second position (fig. 34) like a diamagnetic body.

6) We shall now describe the results obtained by operating with circular cylinders cut out of crystals of ferridcyanide of potassium in such a way that their axis lies in one of the three principal planes, which, according to the two crystallographic axes they contain, we shall denote by the symbols $\alpha\varkappa$, $\alpha\lambda$, $\varkappa\lambda$. The axis perpendicular to the principal plane in which the axis of the cylinder lies may be marked, before experimenting, on its bases. In all the following experiments we can replace the circular cylinder by a circular plate having the same axis.

7) I. Let the axis of the cylinder lie in the plane $\varkappa\lambda$, forming with $\varkappa$ any angle ϱ.

a. Whatever may be the angle ϱ, the cylinder, when oscillating round its axis, this axis being vertical, takes always such a position

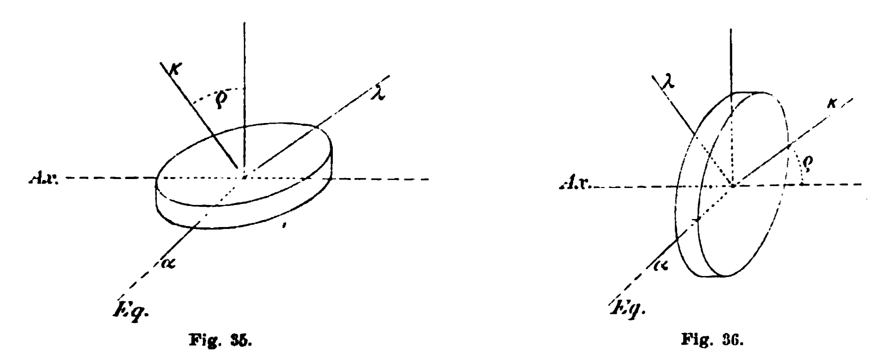


Fig. 35. Fig. 36.

that the plane containing the axes $\varkappa$ and λ becomes axial, the axis α *equatorial* (fig. 35).

b. The cylinder, when suspended in such a way that its axis vibrates horizontally, generally points in an oblique direction, in respect to the axial line. Only in the case where also the axis α is horizontal and therefore the plane $\varkappa\lambda$ vertical, this axis α points equatorially, and therefore the axis of the cylinder *axially* (fig. 36). When, starting from this position, we turn the cylinder round its horizontal axis, the direction of this axis declines from the line joining the two poles; the angle of declination increases till the angle of rotation equals 90°, and therefore the principal plane $\varkappa\lambda$ becomes horizontal (fig. 37); its maximum is ϱ. When the rotation still continues, the axis of the cylinder returns towards

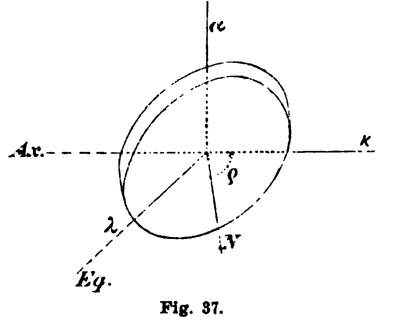


Fig. 37.

the axial line, where it arrives again after a rotation of 180°. From 180° to 360° the same deviation takes place in the same way on the other side of the axial line. Hence, during an entire revolution of the cylinder round its horizontal axis, this axis passes twice through the *axial* line joining the two poles.

8) II. Let the axis of the circular cylinder lie in the principal plane $\alpha\lambda$, making with the crystallographic axis α any angle σ.

a. Whatever may be the angle σ, the cylinder, when oscillating round its axis, this axis being vertical, assumes always such a position that the vertical plane containing the axes α and λ becomes equatorial, the axis $\varkappa$ *axial* (fig. 38).

b. When suspended in such a way that its axis is horizontal, the cylinder sets it generally neither axially nor equatorially. When it rotates

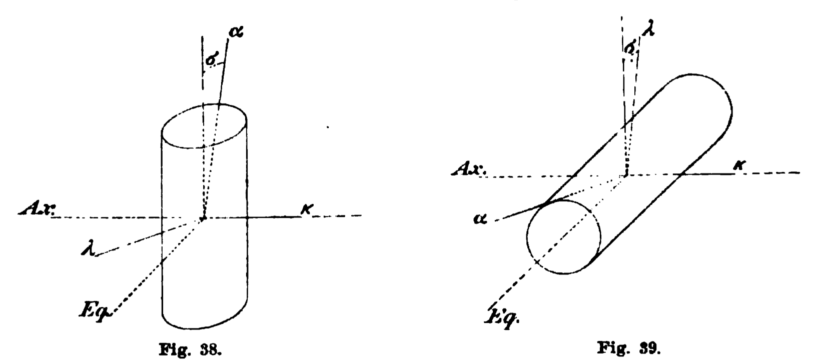


Fig. 38. Fig. 39.

round its horizontal axis, the angle of deviation from the equatorial line varies in a way similar to that in which in the former case the angle of deviation from the axial line varied. There are two positions of the rotating cylinder where its axis is directed *equatorially*. In this case the plane $\alpha\lambda$ becomes vertical (fig. 39). The maximum of the angle of deviation from the equatorial line equals σ, and in this case the plane $\alpha\lambda$ is horizontal (fig. 40). During an entire revolution of the circular cylinder round its horizontal axis, this axis passes twice through the *equatorial* line.

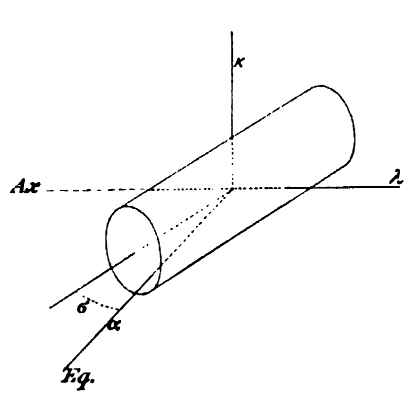


Fig. 40.

9) III. Let the axis of the circular cylinder lie in the principal plane $\alpha\varkappa$, making any angle τ with the crystallographic axis $\varkappa$.

a. When suspended, its axis being vertical and λ being horizontal, the cylinder will, according to the value of the angle τ, set the axis λ *either axially or equatorially.* By varying the angle τ you will find a certain value of it, which we may denote by ω, for which the circular cylinder will not be directed at all, no more than any amorphous paramagnetic body of the same shape and suspended in the same manner. The angle ω, after some trials, was found to be about 70^0. When such a circular cylinder (or plate), unaffected by the magnet, is gently inclined, by turning it round the horizontal axis λ, in one direction and the contrary, the cylinder (or plate) will again take a certain direction; passing through the indifferent state, it will rotate round the vertical line of suspension through an angle of 90^0. When $\tau < \omega$, the axis λ points axially; when $\tau > \omega$, equatorially. The directive power of the poles has its two maxima at $\tau = 0$ and $\tau = 90^0$. From $\tau = 0$ till $\tau = \omega$ it gradually decreases, and finally altogether disappears; from $\tau = \omega$ till $\tau = 90^0$ it increases again.

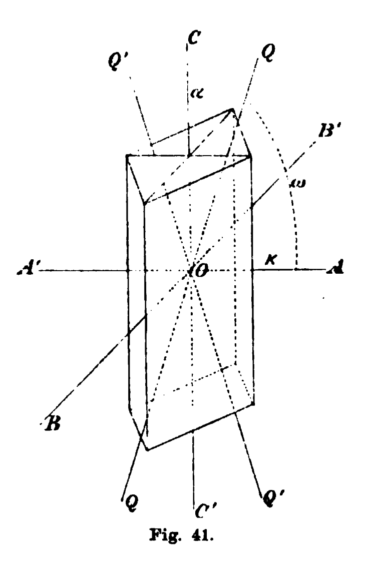


Fig. 41.

The angle ω may be taken on either side of the axis $\varkappa$. Hence there are, within crystallized ferridcyanide of potassium, two different directions (QQ and $Q'Q'$; fig. 41), enjoying each the property that the crystal, when suspended along it between the two poles of a magnet, is acted upon like an amorphous paramagnetic body. It merely points in conformity with its exterior shape; when symmetric round its axis of suspension, it is not directed at all. These two directions, lying in the plane which contains the axis of the primitive prism (α) and the shortest diagonal of its base ($\varkappa$), *i. e.* the axes of least and greatest paramagnetic induction, shall be called *the magnetic axes of the crystal.* The angle between them is about 140^0, it is bisected by the crystallographic axis $\varkappa$.

b) When the same circular cylinder oscillates between the two poles, its axis being horizontal, this axis points generally in an oblique direction. The cylinder rotating round it, two positions will be found where the axis points either axially or equatorially: it depends upon the value of the angle τ which of these two cases takes place. In this position the crystallographic axis λ lies in the horizontal plane.

When the same axis (λ) is vertical, the deviation of the axis of the cylinder from the equatorial or axial line is a maximum, the angle between this axis and the axial line being τ. Between the two mentioned cases, where the axis of the rotating cylinder, according to the value of τ, passes either through the axial or equatorial line, there ought to be an intermediate case, in which the rotating cylinder passes through such a position that the directing power emanating from the poles becomes *uncertain.* It takes place if τ equals about 20^0 $(= 90 - \omega)$; then the magnetic axis passes through the vertical line. Hence, when the angle τ varies from about -20^0 to 20^0, the axis of the rotating cylinder passes through the axial line; when τ varies from about 20^0 to 160^0, the axis passes through the equatorial line. On this passage the directing power emanating from the poles diminishes when we approach to the intermediate case, where it is zero.

10) In looking over the above-described results obtained by operating on prisms, cylinders, and plates cut out of crystallized ferridcyanide of potassium in various directions with regard to the primitive form of this salt, and suspended in different ways, we may easily remark, that all the observed positions of the crystals between the two poles are exactly the same as those of an ellipsoid made from uncrystallized ferridcyanide or any amorphous paramagnetic substance, and suspended along its different diameters. The three axes of this ellipsoid are to be supposed unequal; they are coincident, according to their length, with the axis of greatest induction ($\varkappa$), the axis of mean induction (λ), and the axis of least induction (α).

11) *Sulphate of Zinc* ($ZnSO_4 + 7H_2O$) is a diamagnetic body, showing the extraordinary magnetic action not nearly so strong as the red ferridcyanide of potassium, but strong enough for exhibiting with nicety all the phenomena analogous to those described in the case of the salt before examined. It was especially selected with the intention to examine whether, in regard to the extraordinary magnetic action also, the diamagnetic induction be altogether the contrary of the paramagnetic. This was fully confirmed by experiment.

We may, as in the former case, denote the three crystallographic axes by α, $\varkappa$, and λ, α being the axis of the primitive prism, $\varkappa$ the shorter, λ the longer diagonal of its base.

12) A natural prism oscillating between the two poles, which we always suppose distant enough from each other with regard to the dimensions of the prism, will, when suspended along its axis (α), set equatorially the shorter diagonal of its base ($\varkappa$); when suspended along its shorter diagonal ($\varkappa$), as well as along the longer one (λ), it sets

equatorially its axis (α). These directions remain unchanged when the dimensions of the crystal along its crystallographic axes are, in the different modes of suspending, such that the oscillating body, supposed to be an amorphous diamagnetic one, would be directed in the contrary way. Hence, in the case of our salt, the three crystallographic

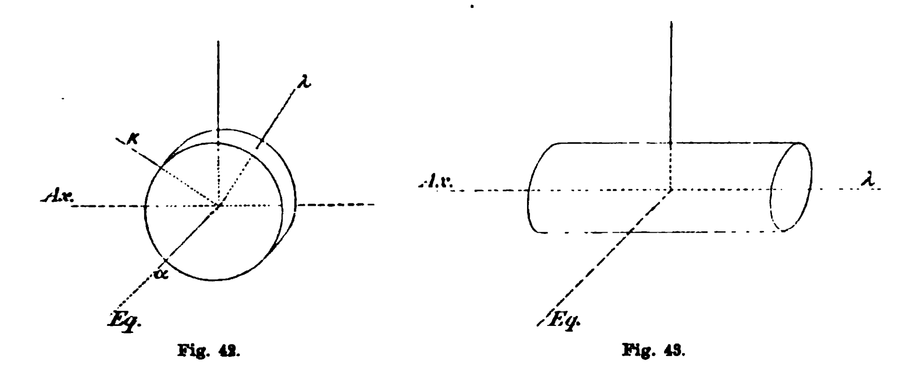


Fig. 42. Fig. 43.

axes may be called *the axes of diamagnetic induction*, α being the axis of *greatest*, $\varkappa$ of *mean*, and λ of *least* induction.

13) When we cut out of the crystal a circular plate perpendicular to the axis α, this axis, when oscillating horizontally between the two

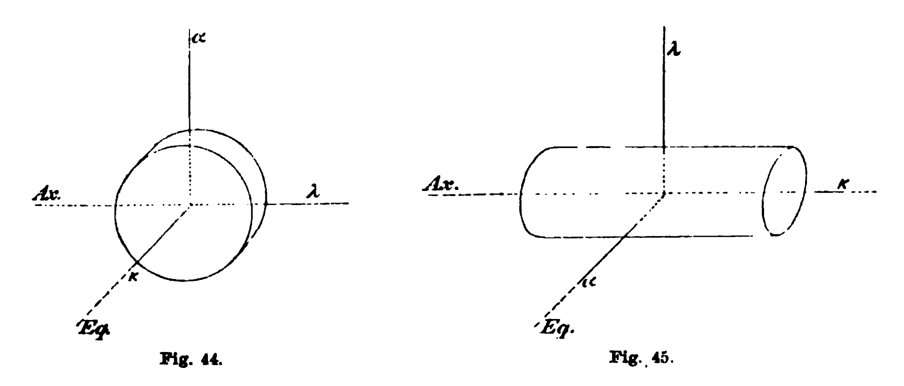


Fig. 44. Fig. 45.

poles, points equatorially (fig. 42), as in the case of an amorphous paramagnetic body. The directing power emanating from the poles is a maximum if $\varkappa$, a minimum if λ be vertical.

A circular cylinder, whose axis coincides with the longer diagonal (λ), when oscillating horizontally between the poles, sets its axis axially (fig. 43), as an amorphous paramagnetic body of the same shape would do. The directive power is a maximum if $\varkappa$, a minimum if α be vertical.

A circular plate, as well as a circular cylinder, whose axes coin-

cide with the shorter diagonal ($\varkappa$), when suspended with their axes horizontally, set these axes, when rotating round them, either axially or equatorially (figs. 44, 45). There is an intermediate case where no sensible extraordinary magnetic action is observed.

14) A circular cylinder, which also, by diminishing the length of its axis, may be reduced to a circular plate, if its axis do not coincide with one of the three crystallographic axes (α), ($\varkappa$), (λ), points generally obliquely when oscillating with its axis horizontally. It passes, when rotating round its horizontal axis, either through the axial or through the equatorial position. The first case always takes place, if its axis lie in the plane $\varkappa\lambda$, the second if it lie in the plane $\alpha\varkappa$. But if the axis lie in the plane $\alpha\lambda$, according to the angles between it and the two axes α, λ, the rotating cylinder passes either through the axial or through the equatorial position.

15) The experiments just described establish the existence, within a diamagnetic crystal also, of two directions, having the property, that the crystal, when suspended along them, is not acted upon by the magnet in an extraordinary way. We may call these directions, as we did in the former case, *the magnetic axes of the crystal.* In order to determine the position of these axes, we proceeded in the following way.

First, there was cut out of a large crystal of sulphate of zinc, very easily procurable, a circular plate (nearly 0,5 of an inch diameter and 0,2 of an inch thick) perpendicular to the plane $\alpha\lambda$ and inclined 45° to the base of the prism. On the upper base of the plate was sketched the direction of the shorter diagonal ($\varkappa$). When suspended horizontally (its axis being vertical), the sketched diagonal ($\varkappa$) pointed equatorially, just as a circular plate parallel to the base of the primitive prism would do when horizontally suspended. Secondly, another similar plate was cut out of the crystal, inclined 50° instead of 45° to the base of the primitive form. The new plate horizontally suspended set the shorter diagonal ($\varkappa$) axially. Hence, according to these observations, the angle, with which an indifferent circular plate may be obtained, is between 45° and 50°.

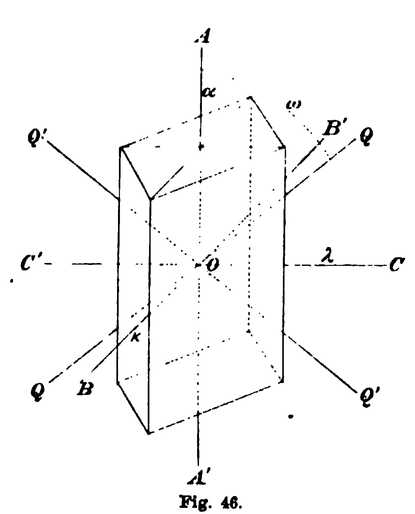


Fig. 46.

It would be difficult to get by this process with certainty closer limits, including the value of this angle. Therefore, the angle between the two magnetic axes is about 95°, and is bisected by the axis of the primitive prism; these axes lie in the plane containing the *acute* edges of this prism (fig. 46).

16) Let us conceive an ellipsoid of amorphous sulphate of zinc or another diamagnetic substance, having within the crystal of this salt its three unequal axes, according to their length, directed along α, $\varkappa$, λ. The positions, which the crystal assumes in all the above described modes of suspension, will be imitated by such an ellipsoid when suspended along its corresponding diameters.

17) *Formiate of copper* ($CuC_2H_2O_4 + 4H_2O$). — We join to the two examined salts belonging to the same system, one of them being paramagnetic, the other diamagnetic, a third salt, whose primitive form is an oblique prism. There is a plane of symmetry passing through the axis of the prism and the longer diagonal of its rhombic base. The inclination of the axis to the base is 78° 55′; the angles between the lateral faces differ 52′ from a right angle (Heusser); the plane of the base is one of perfect cleavage. This salt, easily crystallizing in large and homogeneous crystals, is paramagnetic, and shows very distinctly the extraordinary magnetic action.

18) At first natural crystals were examined, whose exterior shape had been varied by cleaving them parallel to the base. A horizontal plate bounded by cleavage planes set the symmetrical plane, which, being perpendicular to it, was marked on its upper base, exactly equatorially, even then, when this position did not agree with the position of a similar plate consisting of an amorphous paramagnetic substance. Our plate, when suspended vertically, set the cleavage plane *nearly* equatorially; in this case the plate would rotate through nearly 90°, if it were not crystallized. When turned round the horizontal line perpendicular to its bases, it passed through the equatorial position, its declination from this position remaining always very small.

19) Then, out of a large crystal was cut a circular plate bounded by planes of symmetry, three times as broad as thick. On the surface of the plate, when horizontally suspended and in equilibrium between the two poles, were marked the axial and the equatorial line. Let us denote these two lines, perpendicular to each other, by *a* and *c*, the line perpendicular to the plate being denoted by *b*. The angle within the symmetric plane between the normal to the cleavage plane and *a* was found to be 3°, taken from the normal towards the obtuse angles of the symmetric plane. The approximate measure of this angle

was verified afterwards on different crystals. The same plate oscillating vertically pointed axially when c, equatorially when a was vertical. In the first case only an amorphous paramagnetic body of the same shape would assume the same position. But here also the position of the crystal did not change, after having changed its dimensions in such a way that an amorphous body of the same shape would rotate through an angle of 90° round the vertical axis.

20) The last series of experiments may be described thus: the crystal

When suspended along a sets axially b;
When suspended along b sets axially a;
When suspended along c sets axially a.

Hence there is proved here also the existence of *three axes of paramagnetic induction*, enjoying the property, that the crystal, when vertically suspended along any one of them, sets one of the remaining two axes axially, the other equatorially. In the case of our salt, the normal to the plane of symmetry is the axis of *mean* induction (b). The axes of *greatest* and *least* induction, (a) and (c), both lie in the plane of symmetry, the first forming an angle of 3° with the normal to the cleavage plane.

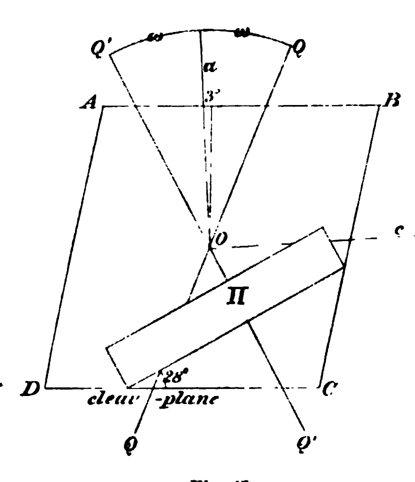


Fig. 47.

We may again conceive an ellipsoid consisting of an amorphous paramagnetic substance, having three unequal axes coincident, according to their length, with a, b, c. Then, in all the different modes of suspension, the crystal will be directed like such an ellipsoid.

21) The *two magnetic axes* are to be sought for within the plane of symmetry containing the greatest and the least axis of induction (a), (c). Therefore a circular plate was prepared, with a diameter of nearly 0,3 of an inch, bounded by planes perpendicular to the symmetric plane $ABCD$ (fig. 47), and inclined to the cleavage plane (the base DC of the primitive oblique prism) $22\frac{1}{2}$°. Horizontally oscillating, this plate set the plane of symmetry, marked by a line on its upper base, equatorially, as a plate bounded by cleavage planes does. After some trials we prepared a similar plate, Π, substituting an angle of 28° for the above angle of $22\frac{1}{2}$°.

Such a plate, horizontally oscillating, was not sensibly directed by the poles. Hence the two magnetic axes, QQ and $Q'Q'$, of formiate of copper, lie in the symmetric plane, including an angle of about 50°, bisected by the above determined axis of greatest induction (a).

II.

On finite ellipsoids influenced by an infinitely distant pole.

22) We have shown that a natural prism of ferridcyanide of potassium, for instance, oscillating between the two poles of a magnet, is kept by them in a fixed position, dependent solely upon the direction of its crystallographic axes with regard to the axis of suspension. It will invariably retain the same position, whatever part we may take away from it, whatever the shape of the remaining fragment may become. From this fact we may conclude that, in the case of this salt, the particles of the influenced crystal do not act sensibly on each other, and hence deduce that the direction of the whole mass of the crystal is plainly defined by the action upon a single one of its molecular particles. According to the above-described experiments, we may infer too, that such a particle is acted upon like a certain amorphous ellipsoid consisting of the substance of the crystal.[1]) Again, the action of a magnetic pole upon a single molecule is throughout analogous to the action of an infinitely distant pole on an ellipsoid of finite dimensions. In both cases the lines of the inductive force are parallel. Thus the solution of the following question coincides with the solution of the question regarding magnecrystallic action: „To determine the couple of forces acting upon an ellipsoid when influenced by an infinitely distant pole."

23) Poisson gave a complete analytical solution of this question, expressing by means of elliptic functions, which may be calculated in every particular case, the intensity and the direction of the resulting forces, and hence the resulting moment, relating to any given axis of rotation. But the complicated analytical expressions of his formulæ will scarcely allow of deducing from them the law they express. Professor Beer recently succeeded in presenting the results of Poisson's theory in a most simple and elegant way, making use of an auxiliary ellipsoid, whose three axes, $\left(\frac{1}{a}\right)$, $\left(\frac{1}{b}\right)$, $\left(\frac{1}{c}\right)$, are expressed by elliptic integrals.

24) Let this ellipsoid be intersected in the two points M and M' by the straight line passing through its centre O and the infinitely distant pole. Construct the two planes touching the ellipsoid in M

and M', and perpendiculars from the centre to these planes, intersecting them in the two points P and P'. Let the distances OM and OM' be denoted by r, the perpendiculars OP and OP' by p, the angle between OP and OM by ξ. Finally, determine two points E and E', lying in OP and OP', on opposite sides of the centre O, whose distance from the centre equals $\frac{1}{rp}$. Now conceive two ellipsoids, both equal to the given influenced one, and having their axes similarly directed, the first one, with its centre in E, filled with southern, the second, with its centre in E', filled with northern magnetic fluid. Then the resulting action exerted by the infinitely distant pole, supposed to be a northern one, on the given paramagnetic induced ellipsoid equals a couple of forces, represented by the attraction of the first and the repulsion of the second ellipsoid, both filled with magnetic fluid.*)

---

*) The solution given above of Poisson's problem immediately results from Professor Beer's communication (Poggendorff's Annalen, xciv, p. 192), which, as it is short, it is but justice to translate here; merely changing, to avoid error, the notation in some cases.

„Let A, B, C be the semi-axes of an ellipsoid, E, electrically influenced by an electric mass, M, infinitely distant along γ, whose action on the unit of volume, filled with the unit of electricity, is $M\varkappa$. Let $\mu u u'$ be the attraction or repulsion between two infinitely small volumes, u, u', filled with electricity of the density 1, at a distance equal to unity.

Construct an auxiliary ellipsoid, whose semi-axes $\frac{1}{a^0}$, $\frac{1}{b^0}$, $\frac{1}{c^0}$ are directed along the semi-axes A, B, C of the influenced conductor.[2]) Take

$$\frac{1}{a^{0^2}} = \frac{2}{A^2}\int_0^\pi d\vartheta \int_0^\pi dv \frac{\frac{\sin^2\vartheta}{\varrho^2} - \frac{\cos^2\vartheta}{A^2}}{\left(\frac{\sin^2\vartheta}{\varrho^2} + \frac{\cos^2\vartheta}{A^2}\right)^2} \sin\vartheta,$$

where

$$\frac{1}{\varrho^2} = \frac{\cos^2 v}{B^2} + \frac{\sin^2 v}{C^2}.$$

In like manner determine $\frac{1}{b^{0^2}}$ and $\frac{1}{c^{0^2}}$ by replacing A by B and A by C. Let r be the radius vector of the auxiliary ellipsoid along γ, and construct at its extremity the tangent plane. Let p be the length of the perpendicular from the centre on this plane, and γ' its direction. Let the influenced ellipsoid E move along γ' through the infinitely small distance $\frac{1}{rp}\cdot\sigma$, and denote it in the new position by $E_,$. By the two ellipsoids, E and $E_,$, two infinitely thin sheets are determined, whose acute edges lie in the curve of intersection of E and $E_,$. One of these two sheets, placed towards M, is exterior to E and interior to $E_,$; the

If the induction of the infinitely distant pole, regarded till now to be paramagnetic, become a diamagnetic one, nothing is changed buth the sign of the two forces, the first ellipsoid, with its centre in E, being now filled with northern, the second one, with its centre in E', with southern magnetic fluid.[4])

25) Denoting the value of each force by φ, the resulting moment of rotation is immediately found to be[5])

$$(1) \qquad \frac{\varphi^2 \sin \xi}{p\, r}, \quad \text{or} \quad \frac{\varphi^2 \tan \xi}{r^2}.$$

The axis of this moment, which we shall denote by OR, round which the influenced ellipsoid tends to move, is perpendicular to the plane MOP. The two diameters OM and OR, possessing the property of being axes of the ellipse formed by the intersection of the ellipsoid with the plane passing through them, are *two conjugate axes* of the surface; the relation between the two is a reciprocal one. To any diameter, regarded as one of two such axes, corresponds only one conjugate axis. Therefore the axis round which the body tends to revolve is continually changed, if the given ellipsoid under the influence of the infinitely distant pole freely move round its centre. To any one of the three axes of the auxiliary ellipsoid exceptionally corresponds an infinite number of second conjugate axes, lying all in the principal plane perpendicular to it. Hence the influenced ellipsoid will

---

other, placed oppositely to M, is interior to E and exterior to $E_{,}$. Conceive both sheets filled with electricity of the same density, $\frac{\varkappa}{\mu}\frac{M}{\sigma}$, but of a different kind, the electricity of the second sheet being the same as the electricity of M.

Such is on the surface of the influenced ellipsoid E the distribution of electricity induced by the infinitely distant mass M." —

It is well known that the mathematical theory of magnetic induction differs from the theory of electrical induction only by a constant, which Poisson denotes by k; this constant being equal to unity in the last case. In order to apply Professor Beer's construction to magnetic induction, we have only to replace the above defined auxiliary ellipsoid by another, whose semi-axes $\frac{1}{a}$, $\frac{1}{b}$, $\frac{1}{c}$ are connected with the former semi-axes $\frac{1}{a^0}$, $\frac{1}{b^0}$, $\frac{1}{c^0}$ by the following relations[3]):

$$\frac{1}{a^2} = 2\pi(1-k) + k\frac{1}{a^{0^2}}$$

$$\frac{1}{b^2} = 2\pi(1-k) + k\frac{1}{b^{0^2}}$$

$$\frac{1}{c^2} = 2\pi(1-k) + k\frac{1}{c^{0^2}}.$$

oscillate continually round such an axis if the infinitely distant pole lie in the conjugate principal plane.

26) When the influenced ellipsoid is only free to rotate round a vertical line passing through its centre — we shall always suppose the infinitely distant pole to lie in the horizontal plane, which therefore contains OM — we may project OP on the horizontal plane, and denote the angle between this projection OP' and OM by ξ'. Then the moment of rotation round the vertical axis is found to be

$$(2) \qquad \frac{\varphi^2 \tan \xi'}{r^2},$$

the radius vector r being always directed towards the pole. The horizontal plane is intersected by the auxiliary ellipsoid in an ellipse passing through M. According to simple geometrical relations, the angle ξ' may be defined also to be, in the horizontal plane, the angle between OM and the perpendicular from the centre O on the straight line touching the ellipse in M.

27) In the case of equilibrium, where the moment of rotation disappears,

$$\tan \xi' = 0.$$

This condition is satisfied if one of the two axes of the ellipse lying in the horizontal diametral plane points towards the infinitely distant pole; if the longer axis does, $\frac{1}{r^2}$ is a maximum, the equilibrium therefore an unstable one; if the shorter axis, $\frac{1}{r^2}$ becomes a minimum, the equilibrium a stable one.[6]) Hitherto the induction was supposed to be paramagnetic; if it become a diamagnetic one, the unstable equilibrium becomes stable, and *vice versâ*.[7]) If the section in the horizontal plane be a circle, the angle ξ' always equals zero, the ellipsoid, therefore, however turned round its vertical diameter, will not move. Hence, the magnetic pole being always situated in the horizontal plane,

An ellipsoid with three unequal axes, oscillating round any of its diameters, supposed to be vertical, when influenced either paramagnetically or diamagnetically by an infinitely distant pole, will be so directed that the auxiliary ellipsoid sets the shorter axis of its horizontal section either axially or equatorially. The two diameters of the auxiliary ellipsoid, perpendicular to its circular sections, are the two magnetic axes of the influenced ellipsoid.

28) In order to verify these results emanating from Poisson's theory in the case of an ellipsoid with three unequal axes, influenced by an infinitely distant pole, it will be necessary to develop them in

the analytical way. The formulæ we shall deduce will find also their immediate application in the case of magnetically induced crystals.

Let us suppose the influenced ellipsoid to rotate round any of its diameters, this diameter being vertical, and the infinitely distant pole lying in the horizontal plane. Its position of equilibrium and the law of its oscillations round the vertical diameter will be determined by the ellipse in which the horizontal plane intersects the auxiliary ellipsoid. This ellipsoid is represented in the ordinary way by the equation

(3) $$a^2x^2 + b^2y^2 + c^2z^2 = 1,$$

where

$$a^2 > b^2 > c^2.$$

The greatest axis of the influenced and the least of the auxiliary ellipsoid lie along OX (fig. 48), the mean axis of both ellipsoids along OY, the least axis of the first and the greatest of the second along OZ. We may determine the horizontal plane $X'OY'$, passing through the common centre of both ellipsoids, by two angles, α and φ; α being the angle between the axis OX and the line OX' in which the plane XOY is intersected by the plane $X'OY'$, and φ the angle between the two planes. This determination admits no ambiguity, when we conceive the plane XOY to pass from its original position by a double rotation into the horizontal plane $X'OY'$; rotating first

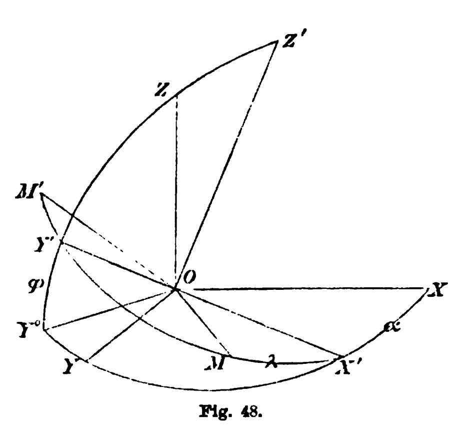


Fig. 48.

round OZ through the angle α, taken from OX towards OY, till OX coincides with OX' and OY with a line we shall denote by OY^0; rotating secondly round OX' through the angle φ, taken in the plane ZOY^0, from OY^0 towards OZ, till OY^0 coincides with OY' and OZ with OZ'. The three new axes, OX', OY', OZ', are perpendicular to each other, as the primitive ones are. The equation of the ellipse in the horizontal plane $X'OY'$, referred to the axes of coordinates OX' and OY', is immediately obtained, when in the equation (3), by means of the following relations,

$$x = x'\cos\alpha - y'\sin\alpha\cos\varphi,$$
$$y = x'\sin\alpha + y'\cos\alpha\cos\varphi,$$
$$z = y'\sin\varphi,$$

x, y and z are replaced by x' and y'. It becomes

$$(4)\qquad \varrho x'^2 + 2\sigma x'y' + \tau y'^2 = 1,$$

by putting, for brevity,

$$(5)\qquad \begin{aligned} a^2\cos^2\alpha + b^2\sin^2\alpha &= \varrho \\ -(a^2-b^2)\sin\alpha\cos\alpha\cos\varphi &= \sigma \\ (a^2\sin^2\alpha + b^2\cos^2\alpha)\cos^2\varphi + c^2\sin^2\varphi &= \tau. \end{aligned}$$

Denoting the two semi-axes OM and OM' of this ellipse by $\frac{1}{a'}$ and $\frac{1}{b'}$, and the two angles, MOX' and $M'OX'$, between them and the axis OX' by λ and $(\lambda + \frac{1}{2}\pi)$, we get the wellknown equations:

$$(6)\qquad (a'^2 - b'^2)^2 = (\varrho - \tau)^2 + 4\sigma^2$$

$$(7)\qquad \tan 2\lambda = \frac{2\sigma}{\varrho - \tau}.$$

29) From these two equations we may first deduce the following one:

$$(a'^2 - b'^2) = \pm \frac{2\sigma}{\sin 2\lambda},$$

whence, by substitution,

$$(8)\qquad (a'^2 - b'^2) = \pm (a^2 - b^2)\frac{\sin 2\alpha}{\sin 2\lambda}\cos\varphi.$$

30) Again, the formula (7) may be expanded thus:

$$(9)\qquad \tan 2\lambda = -\frac{\sin 2\alpha\cos\varphi}{\cos 2\alpha + k\sin^2\varphi},$$

where

$$k = \frac{a^2\sin^2\alpha + b^2\cos^2\alpha - c^2}{a^2 - b^2} = \sin^2\alpha + \frac{b^2 - c^2}{a^2 - b^2}.$$

Fig. 49.

Denoting the angle between the two magnetic axes, perpendicular to the circular sections of the auxiliary ellipsoid (3), by 2ω (fig. 49), we obtain

$$(10)\qquad \frac{b^2 - c^2}{a^2 - b^2} = \tan^2\omega, \quad \frac{b^2 - c^2}{a^2 - c^2} = \sin^2\omega, \quad \frac{a^2 - b^2}{a^2 - c^2} = \cos^2\omega,$$

whence

$$(11)\qquad k = \sin^2\alpha + \tan^2\omega.$$

31) It will be in some cases more convenient to refer the horizontal intersecting plane to another principal section of the auxiliary ellipsoid. Hitherto we have supposed — and so we shall do again in the following articles — the shortest axis $\frac{1}{a}$, the mean $\frac{1}{b}$, and the longest $\frac{1}{c}$ to

coincide with OX, OY, and OZ. Now let $\frac{1}{a}$ fall, as before, on OX, but $\frac{1}{c}$ on OY, and $\frac{1}{b}$ on OZ, and accordingly let α be taken in the plane containing the shortest and the longest axis (fig. 50), from the former towards the latter. In this case b is to be replaced by c, and *vice versâ*; therefore

(12) $$k = \sin^2 \alpha - \sin^2 \omega.$$

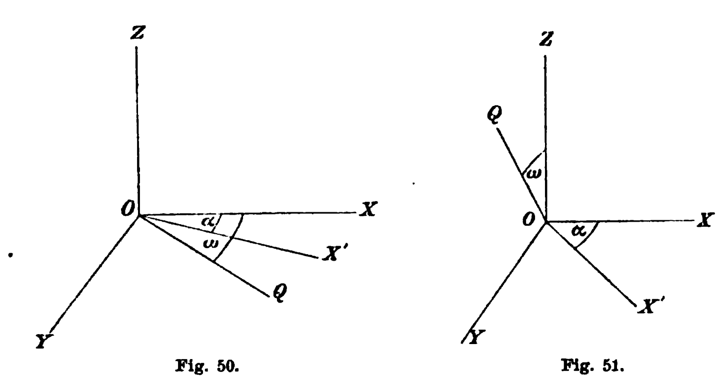


Fig. 50. Fig. 51.

32) When, thirdly, $\frac{1}{a}$ falls on OZ, $\frac{1}{b}$ on OX, and $\frac{1}{c}$ on OY, and accordingly α is taken in the plane YOX (fig. 51), from the mean axis $\frac{1}{b}$ towards the longest $\frac{1}{c}$, we get

(13) $$k = \sin^2 \alpha - \frac{1}{\sin^2 \omega}.$$

33) By means of the formulæ (9) and (11—13), we can determine the position of the influenced ellipsoid, if by the angles α and φ its horizontal section be fixed, with regard to any of its three principal planes. The two axes of the elliptic section of the auxiliary ellipsoid in the same horizontal plane, determined both by λ, will point axially and equatorially. The same two axes may be found also by the most simple geometrical construction.

34) Let the axis $\frac{1}{a}$ fall on OA, the axis $\frac{1}{c}$ on OC (fig. 52); let OQ and OQ' be the two magnetic axes lying in the plane containing OA and OC, therefore $AQ = AQ' = \omega$. Let DMD' be the horizontal plane, AD being α and $MDC = \varphi$; let P be the pole of this plane, whence OP the vertical axis of suspension. Let OE be the projection of OA on the horizontal plane, OR and OR' the projections of the two magnetic axes OQ and OQ'. Let OK and OK' in the same plane be the traces of the two circular sections of the auxi-

liary ellipsoid, and OM and OM' the two semi-axes of the horizontal elliptic section, pointing axially and equatorially.

The two semidiameters (OK and OK') in which any elliptical section of the ellipsoid is intersected by its two circular sections, are both equal to the mean semi-axis $\frac{1}{b}$. The two semidiameters (OR and OR') of the same elliptical section, perpendicular to OK and OK', are likewise equal to one another. Hence we shall find the two axes,

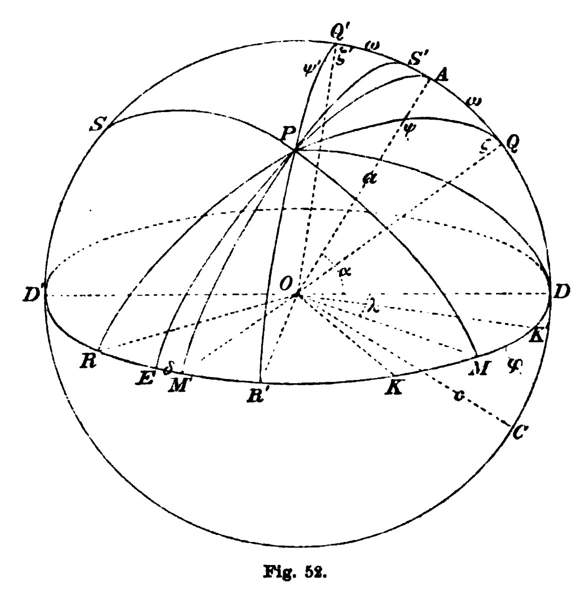


Fig. 52.

OM and OM', of this section, here supposed horizontal, by bisecting the angle RR' and its supplementary angle.

35) This construction of the two axes OM and OM' is easily to execute on a given sphere; we may also without difficulty transform it into analytical expressions.

Considering the three rectangular spherical triangles AED, QRD, and $Q'R'D$, the angle ADE being $\pi - \varphi$, we get

$$(14)\quad \begin{cases} \tan DE = -\tan\alpha\cos\varphi, \\ \tan DR = -\tan(\alpha-\omega)\cos\varphi, \\ \tan DR' = -\tan(\alpha+\omega)\cos\varphi, \end{cases}$$

whence

$$(15)\quad \begin{cases} \lambda + \frac{\pi}{2} = \frac{1}{2}(DR + DR') = DM', \\ \delta = DE - DM', \end{cases}$$

denoting by δ the angle between OE, the projection of OA on the

horizontal plane, and OM', pointing within this plane axially or equatorially.

36) The following relations too will afterwards be employed. From the two triangles QRD and $Q'R'D$, just considered, we deduce also,

$$\cos DR = -\frac{\cos(\alpha-\omega)}{\sin\psi}, \qquad \sin DR = \sin\zeta\sin(\alpha-\omega),$$

$$\cos DR' = -\frac{(\cos\alpha+\omega)}{\sin\psi'}, \qquad \sin DR' = \sin\zeta'\sin(\alpha+\omega),$$

denoting by ψ and ψ' the angles PQ and PQ' between the two magnetic axes (OQ and OQ') and the vertical line OP, and by ζ and ζ' the angles DQP and $DQ'P$. Hence

$$\sin 2\lambda = -\sin(DR+DR')$$

$$= \frac{\sin\zeta}{\sin\psi'}\sin(\alpha-\omega)\cos(\alpha+\omega) + \frac{\sin\zeta'}{\sin\psi}\cos(\alpha-\omega)\sin(\alpha+\omega).$$

But from the triangles DQP and $DQ'P$ we get, remembering that $PDQ = \frac{1}{2}\pi - \varphi$ and $PD = \frac{1}{2}\pi$,

$$\sin\zeta\sin\psi = \sin\zeta'\sin\psi' = \cos\varphi,$$

whence

$$\frac{\sin\zeta}{\sin\psi'} = \frac{\sin\zeta'}{\sin\psi} = \sqrt{\frac{\sin\zeta\sin\zeta'}{\sin\psi\sin\psi'}} = \frac{\cos\varphi}{\sin\psi\sin\psi'};$$

therefore, expanding the last equation,

$$\sin\psi\sin\psi' = \frac{\sin 2\alpha\cos\varphi}{\sin 2\lambda} \tag{16}$$

Reverting to the equation (8), in which here, according to art. (31), b^2 is to be replaced by c^2, we may write it now thus:

$$(a'^2 - b'^2) = (a^2 - c^2)\sin\psi\sin\psi'. \tag{17}$$

37) By means of the angle ω we have determined the position of the influenced ellipsoid: this position, reciprocally, being determined by observation in any particular case, we can find the angle ω. We may use for this purpose the formulæ (9) and (11—13). But a simple geometrical consideration will equally lead us to the determination of the value of ω.

The two vertical planes SPM and $S'PM'$, containing the two axes of the horizontal section, and the two planes QPR and $Q'PR'$ bisecting them, constitute what is called a system of four harmonic planes. Such a system is intersected by any plane in four harmonic lines. OS, OS' and OQ, OQ' are therefore four harmonic lines, whence, the angle 2ω between OQ and OQ' being bisected by OA,

$$\tan\eta\tan\eta' = \tan^2\omega, \tag{18}$$

denoting the angles AS and AS' by η and η'. Again, in the triangle PDS, observing that $PDS = \frac{1}{2}\pi - \varphi$, $DPS = \pi - \lambda$, $DS = \eta + \alpha$, we get

$$(19) \quad \begin{cases} \tan(\eta + \alpha) = -\dfrac{\tan \lambda}{\cos \varphi}, & \text{whence} \\ \tan(\eta' + \alpha) = \dfrac{\cot \lambda}{\cos \varphi}. \end{cases}$$

The position of the horizontally oscillating plane being determined, within the influenced ellipsoid, by the two angles α and φ, and the two directions within this plane pointing axially and equatorially by λ, the last two equations furnish the values of η and η', whence, by means of (18), we obtain the value of ω, and consequently the directions of the two magnetic axes.

38) We have hitherto considered as known the direction of the three axes of the auxiliary ellipsoid. Such is the case in the question of a given ellipsoid, influenced by an infinitely distant magnetic pole, where these three axes are coincident with the three axes of the influenced ellipsoid. But, when treating on the magnetic induction of crystals, we shall meet with questions where the direction of the axes of the auxiliary ellipsoid is to be determined by experiment. If a given ellipsoid be suspended along any diameter, we can find the two axes of the horizontal section of the auxiliary ellipsoid, these axes pointing one axially, the other equatorially. The new question therefore is a geometrical one, „To determine the three axes of an ellipsoid, knowing the two axes of each of its sections,“ and may be resolved in the following way.

Let the given infiuenced ellipsoid revolve round any one of its diameters, supposed to lie in the horizontal plane, and mark in each of its positions the axial as well as the equatorial line. These two lines, two conjugate axes of the auxiliary ellipsoid, will describe during one revolution a conic surface of the third order, containing the three axes of the auxiliary ellipsoid; for these axes will successively pass through the horizontal plane, and then point either axially or equatorially. Hence two such conic surfaces will determine the three axes of the auxiliary ellipsoid.

39) Let any two conjugate axes of the auxiliary ellipsoid be represented by

$$x = gz, \qquad x = g'z,$$
$$y = hz, \qquad y = h'z,$$

while this ellipsoid is always represented by

$$a^2x^2 + b^2y^2 + c^2z^2 = 1.$$

Then

$$gg' + \quad hh' + 1 = 0,$$
$$a^2gg' + b^2hh' + c^2 = 0,$$

whence

$$(20)\qquad \begin{cases} gg' = \quad \dfrac{b^2 - c^2}{a^2 - b^2} = \tan^2 \omega, \\ hh' = -\dfrac{a^2 - c^2}{a^2 - b^2} = -\dfrac{1}{\cos^2 \omega}. \end{cases}$$

The two conjugate axes, when lying in the above-mentioned conic surface, are contained in a plane passing also through the horizontal diameter round which the given ellipsoid revolves. This diameter being represented by

$$x = mz,$$
$$y = nz,$$

we get, therefore,

$$(g' - g)n + (h - h')m + (gh' - hg') = 0.$$

Eliminating g' and h' by means of (20), and putting $\frac{x}{z}$ and $\frac{y}{z}$ instead of g and h, we obtain the following equation:

$$(21)\qquad \frac{(nx - my)}{z} \cos^2 \omega + \frac{(y - nz)}{x} \sin^2 \omega + \frac{x - mz}{y} = 0,$$

representing the conic surface of the third order.

40) Reverting to the rotation of the influenced ellipsoid, we immediately obtain the instantaneous axis of rotation. The given diameter OM passing, when prolonged, through the infinitely distant pole and this axis being two conjugate axes of the auxiliary ellipsoid, each of them is determined by the other by means of (20). Denoting the angles between OM and the three axes of coordinates OX, OY, OZ by μ, ν, ϱ, and those between the instantaneous axis of rotation and the three same axes of coordinates by μ', ν', ϱ', we have

$$(22)\qquad -\frac{\cos \mu \cos \mu'}{\sin^2 \omega} = \cos \nu \cos \nu' = -\frac{\cos \varrho \cos \varrho'}{\cos^2 \omega}.$$

41) The absolute moment of rotation found to be

$$\frac{\varphi^2 \tan \xi}{r^2}$$

may easily be expanded: ξ being the angle between the diameter OM passing through M, whose coordinates may be denoted by x, y, z, and the perpendicular to the plane touching the auxiliary ellipsoid in this point, we get by well-known formulæ

$$\begin{aligned} \tan^2 \xi &= [(a^2 - b^2)xy]^2 + [(a^2 - c^2)xz]^2 + [(b^2 - c^2)yz]^2 \\ &= (a^2 - c^2)^2[x^2y^2 \cos^2 \omega + x^2z^2 + y^2z^2 \sin^2 \omega], \end{aligned}$$

whence

$$\left(\frac{\tan \xi}{r^2}\right)^2 = (a^2 - c^2)^2 [\cos^2\mu \cos^2\nu \cos^2\omega + \cos^2\mu \cos^2\varrho + \cos^2\nu \cos^2\varrho \sin^2\omega];$$

and by eliminating $\cos^2\nu$ by means of

$$\cos^2\mu + \cos^2\nu + \cos^2\varrho = 1,$$

and by reducing,

$$(23)\quad \left(\frac{\tan \xi}{r^2}\right)^2 = \tfrac{1}{4}(a^2 - c^2)^2 [\sin^2 2\mu + \sin^2\omega (\sin^2 2\varrho - \sin^2 2\mu)].$$

When the infinitely distant pole falls successively within each of the three principal sections of the auxiliary ellipsoid, the following resulting moments of rotation are obtained:

$$\tfrac{1}{2}\varphi^2(a^2 - b^2)\sin 2\mu, \quad \tfrac{1}{2}\varphi^2(a^2 - c^2)\sin 2\mu, \quad \tfrac{1}{2}\varphi^2(b^2 - c^2)\sin 2\nu.$$

42) Now let us suppose the given ellipsoid to rotate round its vertical diameter, the horizontal plane being determined by any two angles α and φ. Let the elliptical section of the auxiliary ellipsoid within the horizontal plane (4) be represented by

$$a'^2x^2 + b'^2y^2 = 1,$$

its shorter semi-axis $\frac{1}{a'}$ lying in the axis of abscissae. Let r' be the lenght of the semidiameter OM of this elliptical section passing, if prolonged, through the infinitely distant pole, and x' and y' the coordinates of its extremity, M. Then

$$\tan \xi' = (a'^2 - b'^2)x'y',$$

whence the moment of rotation round the vertical axis

$$(24)\quad \frac{\varphi^2 \tan \xi'}{r'^2} = \varphi^2(a'^2 - b'^2)\frac{x'y'}{r'^2} = \varphi^2(a'^2 - b'^2)\sin\vartheta\cos\vartheta,$$

the angle between the radius vector r' and the shorter axis $\frac{1}{a'}$ being ϑ.

43) The oscillations of the influenced ellipsoid, when infinitely small, may easily be analytically determined. The ellipsoid, supposed to be paramagnetically induced, is in stable equilibrium when the shorter semi-axis $\left(\frac{1}{a'}\right)$ of the elliptical section of the auxiliary ellipsoid within the horizontal plane points towards the infinitely distant pole. When rotated through an infinitely small angle, this angle being the angle ϑ between r' and the axis $\left(\frac{1}{a'}\right)$, the corresponding moment of rotation becomes

$$(25)\quad \varphi^2(a'^2 - b'^2)\vartheta.$$

This expression will remain unchanged when the paramagnetic induction becomes a diamagnetic one; φ becoming, in this case, nega-

tive and the longer axis $\left(\frac{1}{b'}\right)$, instead of the shorter $\left(\frac{1}{a'}\right)$, directed towards the infinitely distant pole.[6])

We obtain therefore, in both cases,

$$\frac{d^2\vartheta}{dt^2} = \frac{\varphi^2(a'^2 - b'^2)}{MK^2}\vartheta,$$

denoting the mass of the influenced ellipsoid by M, and its moment of inertia with regard to the vertical axis by MK^2. Consequently the ellipsoid, under the influence of the infinitely distant pole, oscillates like a common pendulum. Denoting the time of one oscillation by Θ, we get, in the ordinary way, by integration,

$$\Theta^2 = \frac{MK^2\pi^2}{\varphi^2(a'^2 - b'^2)}. \tag{26}$$

44) When we suppose the three semi-axes A, B, C of the influenced ellipsoid to be successively vertical, the corresponding values of K^2 become

$$\tfrac{1}{5}(B^2 + C^2) = K_{,}^2, \quad \tfrac{1}{5}(A^2 + C^2) = K_{,,}^2, \quad \tfrac{1}{5}(A^2 + B^2) = K_{,,,}^2,$$

whence, in the general case, α^0, β^0, γ^0 being the angles between the vertical axis of rotation and the three semi-axes A, B, C,

$$K^2 = K_{,}^2 \cos^2\alpha^0 + K_{,,}^2 \cos^2\beta^0 + K_{,,,}^2 \cos^2\gamma^0.$$

The time corresponding to one oscillation round A, B, C being denoted by $\Theta_{,}$, $\Theta_{,,}$, $\Theta_{,,,}$, we have

$$\begin{cases} \Theta_{,}^2 = \tfrac{1}{5}\pi^2 \dfrac{M}{\varphi^2} \cdot \dfrac{B^2 + C^2}{b^2 - c^2}, \\ \Theta_{,,}^2 = \tfrac{1}{5}\pi^2 \dfrac{M}{\varphi^2} \cdot \dfrac{A^2 + C^2}{a^2 - c^2}, \\ \Theta_{,,,}^2 = \tfrac{1}{5}\pi^2 \dfrac{M}{\varphi^2} \cdot \dfrac{A^2 + B^2}{a^2 - b^2}. \end{cases} \tag{27}$$

Remembering the relations (10), we find, by division,

$$\begin{cases} \dfrac{\Theta_{,,}^2}{\Theta_{,,,}^2} = \dfrac{A^2 + C^2}{A^2 + B^2} \cdot \cos^2\omega, \\ \dfrac{\Theta_{,,}^2}{\Theta_{,,}^2} = \dfrac{A^2 + C^2}{B^2 + C^2} \cdot \sin^2\omega, \\ \dfrac{\Theta_{,,,}^2}{\Theta_{,}^2} = \dfrac{A^2 + B^2}{B^2 + C^2} \cdot \tan^2\omega; \end{cases} \tag{28}$$

and likewise, according to (17),

$$\frac{\Theta_{,,}^2}{\Theta^2} = \frac{K_{,,}^2}{K^2} \cdot \frac{a'^2 - b'^2}{a^2 - c^2} = \frac{K_{,,}^2}{K^2} \sin\psi \sin\psi', \tag{29}$$

ψ and ψ' being, as before, the angles between the vertical axis of rotation and the two magnetic axes.

45) Eliminating, finally, ω from any two of the three equations (28), we obtain

$$(30) \qquad \frac{A^2+B^2}{\Theta^2_{\prime\prime\prime}} + \frac{B^2+C^2}{\Theta^2_{\prime}} = \frac{A^2+C^2}{\Theta^2_{\prime\prime}}.$$

46) With regard to the magnetic induction of crystals, the following geometrical considerations will not appear without some interest.

The auxiliary ellipsoid, whose equation in rectangular coordinates is

$$(3) \qquad a^2x^2 + b^2y^2 + c^2z^2 = 1,$$

may be replaced by another one represented by

$$(31) \qquad \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1.$$

The new ellipsoid, whose axes are a, b, c, may be called the *first* auxiliary ellipsoid; the ellipsoid hitherto made use of, the *second* auxiliary one. The two ellipsoids are polar surfaces with regard to a concentric sphere whose radius equals unity. The two magnetic axes hitherto defined to be the two perpendiculars to the circular sections of the second auxiliary ellipsoid, may be defined also, with regard to the first auxiliary ellipsoid, to be the axes of the circumscribed circular cylinders. The resulting couple $\frac{\varphi^2 \sin \xi}{rp}$ may also be written thus,

$$\varphi^2 p_0 r_0 \sin \xi = \tfrac{1}{2}\varphi^2 r_0^2 \sin 2\xi,$$

r_0 being the radius vector OM_0 of the first auxiliary ellipsoid lying along $p\,(=OP)$, and $p_0\,(=OP_0)$ the perpendicular to the plane touching it in the extremity of this radius vector and coinciding with $r\,(=OM)$.

47) Let ϱ $(=OE)$ be equal to $r_0 p_0$ and directed along OP and OM_0; let x_0, y_0, z_0 be the coordinates of M_0, and α_0, β_0, γ_0 the angles between ϱ $(=OE)$ and the three axes of coordinates; then

$$\left(\frac{1}{\varrho}\right)^2 = \frac{1}{r_0^2}\left(\frac{x_0^2}{a^4} + \frac{y_0^2}{b^4} + \frac{z_0^2}{c^4}\right) = \frac{\cos^2\alpha_0}{a^4} + \frac{\cos^2\beta_0}{b^4} + \frac{\cos^2\gamma_0}{c^4}.$$

This relation shows that the point E falls on the surface of a new ellipsoid, which may be called the *ellipsoid of induction*. Its three semi-axes are a^2, b^2, c^2. Therefore the ellipsoid of induction and the concentric sphere, whose radius is equal to unity, are two polar surfaces with regard to the first auxiliary ellipsoid, the polar plane of the point E touching the sphere in a point K, in which the sphere is intersected by OP_0.

By means of the ellipsoid of induction, which may be represented by

$$(32) \qquad \frac{x^2}{\alpha^2} + \frac{y^2}{\beta^2} + \frac{z^2}{\gamma^2} = 1,$$

we can completely resolve the proposed question, replacing in all the former formulæ a^2, b^2, c^2 by α, β, γ. Thus, for instance,

$$\cos^2 \omega = \frac{\alpha - \beta}{\alpha - \gamma}, \qquad \cos 2\omega = \frac{\alpha + \gamma - 2\beta}{\alpha - \gamma},$$

whence the two magnetic axes are known.

48) With reference to the relations between the different ellipsoids and the sphere above mentioned, we easily obtain various constructions of Poisson's problem, among which I select the following one (fig. 53).

In the general case, where the influenced ellipsoid is free to rotate round its centre, construct the planes touching the sphere in the points K and K', in which it is intersected by the radius vector OM passing, when prolonged, through the infinitely distant magnetic pole;

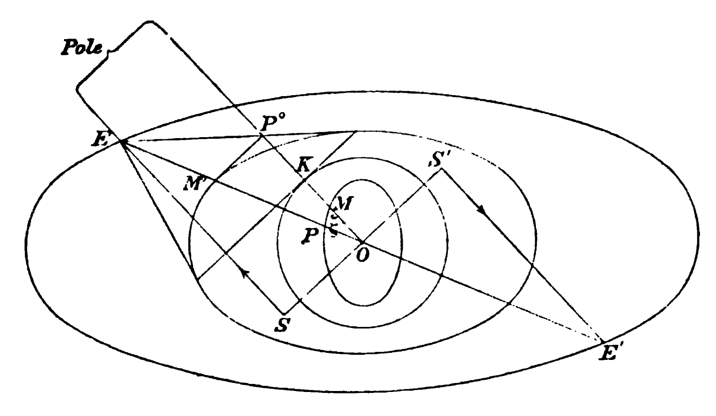


Fig. 53.

and let the conjugate poles of these planes, with regard to the first auxiliary ellipsoid, be E and E'. Then EOE' is a diameter of the ellipsoid of induction; its projection SOS' on any plane perpendicular to OM (containing, for instance, the centre O) represents the absolute moment of rotation (putting $\varphi = 1$), and the line within the same plane, perpendicular to the projection SOS', is the instantaneous axis of rotation.

49) In order to verify the results emanating from Poisson's theory, I appealed to the known ability of M. Fessel of Cologne, to turn, out of a homogeneous piece of soft iron, two ellipsoids with unequal axes, the position of the centres and the length of the diameters of one set of their circular sections having been previously calculated. The ratio of the squares of the three axes in both ellipsoids was fixed as follows:

$$A^2 : B^2 : C^2 = 400 : 160 : 100.$$

According to this ratio, both sets of circular sections were perpendicular to each other, as were also the diameters perpendicular to both sets of circular sections. The longest axis, $2A$, of the first ellipsoid was 3,16 inches; the second ellipsoid had only half the dimensions of the first.

50) 1st. The first ellipsoid was attached at the extremities of its longest axis $2A$ to the inside of a graduated thin ring of brass, the shortest axis $2C$ coinciding also with a diameter of the ring. The ring was attached to the torsion-balance. We made use of a great horseshoe-electro-magnet placed vertically, and excited by twelve of Grove's elements. The diameter of the flat poles was about 4 inches, the distance between their centres 10,24. The ellipsoid was brought into such a position that its centre lay in the vertical plane passing through the centres of the two poles, at a distance of 30,74 inches from the point midway between them, nearly 4,1 inches below the horizontal plane touching both poles. A dipping-needle, having its centre similarly placed within the same vertical plane, and by means of a counterpoise pointing horizontally when the current was interrupted, pointed horizontally too when the current was closed.

When suspended with its longest axis $2A$ vertical, the ellipsoid set its mean axis $2B$ axially; when with its shortest axis $2C$ vertical, the same mean axis $2B$ pointed equatorially. Therefore, as the vertical axis of suspension passes within the principal plane AC, *i. e.* within the middle plane of the ring, from the first position to the second, there ought to be found a position where the mean axis $2B$ passes from the axial into the equatorial line. Accordingly we got the two magnetic axes of the ellipsoid, equally distant on both sides from the longest axis $2A$, and two suspensions corresponding to each axis and correcting each other.

51) In the four suspensions along 25°, 155°, 205°, 355°, the torsion-wire being attached to the ring in the corresponding division, beginning from one extremity of the longest axis and going round from 0° to 360°, the mean axis $2B$ pointed axially, the longest axis $2A$ being within the equatorial plane. In the four suspensions along 30°, 150°, 210°, 330°, the mean axis $2B$ pointed equatorially, the longest axis $2A$ being within the axial plane; but here the directing power appeared not quite so strong as before, and most weak in the second and fourth of these suspensions. When suspended along $27^1/_2$°, $152^1/_2$°, $207^1/_2$°, $332^1/_2$°, the ellipsoid set its mean axis $2B$ axially. Hence the angle, denoted before by ω, is between $27^1/_2$° and 30°,

about 29°. Therefore the angle between the two sets of circular sections of the auxiliary ellipsoid, *i. e.* the angle between the two magnetic axes, is about 58°, while two circular sections of the induced ellipsoid of iron are perpendicular to each other.

The same experiment has been repeated exactly in the same way with the smaller ellipsoid of iron. The resulting magnetic axes had nearly the same position as in the former case, the angle ω being fully 30° instead of 29°. This angle was not sensibly changed when the distance from the point midway between the centres of the flat poles of the electro-magnet was increased from 30,74 to 39,37 inches.

52) 2nd. Then we proceeded to a second series of experiments, in order, first, to verify the equation (30), which may be considered as the test of Poisson's theory; secondly, to determine by means of the method of oscillations the same angle ω which we formerly obtained by direct observation. We made use of the smaller ellipsoid, attached without the divided ring by means of very fine copper wires to the silk thread of the torsion-balance, having its centre always in the same place, 39,37 inches distant from the equatorial plane of the electro-magnet. In three different suspensions the axes $2A$, $2B$, $2C$ were successively vertical, the corresponding principal planes, marked by white paint, oscillating horizontally, always at the same height. It had been ascertained that the copper wire did not sensibly increase the moment of inertia of the iron ellipsoid, nor had the torsion of the carefully selected silk thread any sensible influence on the number of oscillations. The current being interrupted, the longer axis of the horizontal section of the ellipsoid was, before oscillating, directed by means of the torsion-balance towards the poles. The observed numbers of oscillations corresponding to different magnetic powers were in full accordance. Here I shall refer only to the last series of observations, where the current was excited by twelve elements, the acids not having been used before, the zinc being newly amalgamated. Immediately after each observation we repeated the experiment, with this difference, that that extremity of the vertical axis which had pointed downwards was now directed upwards. Thus we got two numbers relating to each of the three cases. After having determined the second number of the first case, the ellipsoid was brought again into the primitive position: thus was obtained a third number equal to the first.

Table.

Number of oscillations.	Number of seconds required.	
Axis $2B$ vertical.		
18	169, 170, 169	Mean 169,33
Axis $2C$ vertical.		
14	159, 162	Mean 160,5
Axis $2A$ vertical.		
12	161, 157	Mean 159.

To control the constancy of the current during the observations, in each suspension the number of seconds corresponding to the first and last half number of oscillations was separately marked; but the number of seconds having been found in all cases equal to half the total number, I thought it not necessary to note it here. Finally, the first observation was twice repeated; we found 166,5 instead of 169,5, indicating a small increase of the magnetic power.

The ratio of the three mean numbers of the Table being independent of the intensity of the current, the next day we determined by observation in a more peculiar way the ratio of the first and second number, and afterwards the ratio of the first and third. In both cases we got small differences. Accordingly, the observation of the first case admitting the greatest accuracy, we retained the first mean number 169,33; instead of the second, 160,5, we adopted 159,75; instead of the third, 159, we adopted 160,2.

The square of the time of one oscillation concluded from the corrected Table is in the three cases

$$\Theta_{\prime\prime}^2 = 88{,}51,$$
$$\Theta_{\prime\prime\prime}^2 = 130{,}19,$$
$$\Theta_{\prime}^2 = 178{,}22.$$

Putting

$$A^2 = 400, \quad B^2 = 160, \quad C^2 = 100,$$

we get

$$A^2 + C^2 = 500, \quad A^2 + B^2 = 560, \quad B^2 + C^2 = 260;$$

therefore

$$\frac{A^2+C^2}{\Theta_{,,}^2}=5{,}649,$$

$$\frac{A^2+B^2}{\Theta_{,,,}^2}=4{,}301,$$

$$\frac{B^2+C^2}{\Theta_{,}^2}=1{,}459.$$

The sum of the last two numbers, equal to

$$5{,}760,$$

differs from the first by only

$$0{,}111,$$

i. e. $\frac{1}{50}$ nearly. This error falls within the limits of the errors of observation.

The equation (30) being thus verified, we obtain, according to (28),

$$\tan\omega=\sqrt{\frac{1459}{4301}},$$

whence

$$\omega=30^0\ 13'.$$

This value of the angle ω agrees very well with the value concluded, in a less exact way, from the first series of observations.*)

III.

Theory of the magnetic induction of crystals, and its experimental verification.

53) The results we obtained in the preceding section remain unchanged as long as the dimensions of the influenced body may be neglected with regard to the distance of the pole, *i. e.* as long as within the influenced body the lines of magnetic force are sensibly parallel. The formulæ therefore we deduced from Poisson's theory,

*) We may regard here the above-described experiments as a sufficient verification of the results emanating from Poisson's theory, in the case of an ellipsoid of iron influenced by a distant pole. A more complete verification of this theory lies beyond the limits of this paper. The ellipsoid of iron may be replaced by a similar one of cobalt or nickel; according to theory, the angle (2ω) between the two axes will be found to be a different one. We may derive from experiment the value of Poisson's constant k (art. 24, note), and compare the value of the magnetic induction with gravitation. Whatever may be the interest connected with these questions, they must be reserved to another series of experiments; the more so, as our horseshoe-electro-magnet — whose two poles induce a distant ellipsoid in opposite sense, along directions which are to be previously determined by observation — is, for such researches, to be replaced by a system of two cylindric electro-magnets having a common axis.

relating to a finite ellipsoid influenced by an infinitely distant pole, may be immediately applied to the infinitely small particle of a crystal at a finite distance from the inducing pole. If the particle be placed between two opposite poles, we may substitute for the two poles a single one of double intensity.

54) Let us then conceive, as we did before, the crystal to consist of an infinite number of influenced small ellipsoids, not sensibly acting on each other. Every such ellipsoid will furnish a moment of rotation represented by

$$\frac{\tan \xi \, d(\varphi^2)}{r^2},$$

ξ and r being determined by the auxiliary ellipsoid. The resulting moment of rotation will be represented by the integral

$$\int \frac{\tan \xi \, d(\varphi^2)}{r^2}$$

extended to the entire mass of the crystal. If we admit that all particles of a crystallized mass *are of the same form and similarly directed*, ξ and r become constant, whence the resulting moment

$$\frac{\varphi^2 \tan \xi}{r^2}.$$

The moment therefore is the same, as if the crystal, whatever may be its exterior form, were transformed into an amorphous ellipsoid of the same mass.[1])

55) A finite amorphous ellipsoid, attached to any vertical axis, when influenced by an infinitely distant pole falling within the horizontal plane, will be directed in the same way as a similar ellipsoid rotating round its vertical diameter. Having therefore a series of such ellipsoids attached one to another and rotating round a common axis, each of them will be forced into the same position of equilibrium as when rotating alone. Hence a crystal too, oscillating between the two poles, is *directed*, whatever may be its shape, like one of its ultimate particles, *i. e.* like the above-mentioned ellipsoid.

56) Therefore, in the case of the magnetic induction of crystals, the same analytical formulæ subsist, which, in the preceding section, we derived in the case of an influenced amorphous ellipsoid by means of auxiliary ellipsoids. All former formulæ concerning the direction of the crystal remain unchanged. With regard to the formulæ bearing upon the law of its oscillations, we shall suppose the oscillating crystal to be always of a spherical form; then the moment of inertia, corresponding to any vertical axis, is equal to $\frac{2}{5}MR^2$, denoting the mass of the crystal by M and its radius by R. Accordingly, the formulæ (26),

(28), (29), (30) are to be replaced by

$$(33)\qquad \Theta^2 = \frac{2MR^2\pi^2}{5\varphi^2(a'^2 - b'^2)} = \frac{2MR^2\pi^2}{5\varphi^2(a^2 - c^2)} \cdot \frac{1}{\sin\psi \sin\psi'}$$

$$(34)\qquad \frac{\Theta_{,,}}{\Theta_{,}} = \sin\omega, \quad \frac{\Theta_{,,}}{\Theta_{,,,}} = \cos\omega, \quad \frac{\Theta_{,,,}}{\Theta_{,}} = \tan\omega.$$

$$(35)\qquad \Theta_{,,}^2 = \Theta^2 \sin\psi \sin\psi'.$$

$$(36)\qquad \frac{1}{\Theta_{,}^2} + \frac{1}{\Theta_{,,,}^2} = \frac{1}{\Theta_{,,}^2}.$$

In all these formulæ, we suppose known, as we did before, the direction of the three axes $2a$, $2b$, $2c$ of the first ellipsoid, *i. e.* the direction of the axes of greatest, mean, and least induction. The angle between the two magnetic axes is always denoted by 2ω. The time of one oscillation is denoted by $\Theta_{,}$, $\Theta_{,,}$, $\Theta_{,,,}$, and Θ in the cases where the crystal, of a spherical form, successively oscillates round its axes of greatest, mean, and least induction and round any diameter determined by the two angles ψ and ψ' between it and the two magnetic axes.

57) The first question we here meet with, is to determine for any crystalline substance the constants, especially ω, upon which depends the position of the crystal, when suspended between the poles, and the law of its oscillations.

1st. We may, as shown in the case of ferrydcyanide of potassium, sulphate of zinc, and formiate of copper, find by experiment, within the crystal, the two magnetic axes, remembering that the crystal, when suspended along one of them, is not acted upon in an extraordinary way, not at all acted upon when its form is, for instance, that of a sphere.

2nd. Any one suspension of the crystal along a vertical axis, fixed with regard to the axes of induction, is sufficient to determine the angle ω, and hence the position of the two magnetic axes. We may for this purpose make use of the formula (9), and any one of the formulæ (11)—(13), or of the formulæ (18), (19). Reciprocally, ω being determined, we may calculate the position of the crystal in any given suspension by means of (9) and (11)—(13), or of (14) and (15).

3rd. Let the spherical crystal be successively suspended along any two diameters, previously determined within it with regard to its axes of induction, and let us take in both cases the number of oscillations it performs in a given time, when brought a little out of its position of stable equilibrium. From the two numbers thus obtained we can easily calculate the value of ω (33), most easily when the crystal was suspended along any two of its axes of induction (34).

58) By determining for any crystal the value of the angle ω in the three different ways, we are enabled to verify the theory we have put forward. Such a verification, however, is immediately supplied by the equation (36), which may be expressed thus:

The sum of the squares of the numbers of oscillations which a sphere turned out of a crystalline substance performs in a given time, when successively suspended along the greatest and least axis of induction, equals the square of the number of oscillations performed when suspended along the mean axis of induction.

59) Among the crystals I was able to provide, the most proper to be used in order to verify the proposed theory of the magnetic induction of crystals was formiate of copper, which I crystallized myself. After some trials, I succeeded in getting turned, by M. Fessel, out of a fine crystal of this salt, a perfectly homogeneous sphere 0,39 of an inch in diameter. A great circle traced on its varnished surface marked the cleavage plane of the crystal. (In order to verify, after experiment, the position of this plane, the sphere was cloven by means of the heat produced in the focus of a burning lens.) The sphere was supported by a small circular ring of very thin mica, attached by three thin silk threads to the double cocoon-fibre of the torsion-balance. The distance of the pointed poles, the extremities of large iron pieces put on the flat poles of the large electro-magnet, from each other was about 1,58 of an inch.

60) The sphere was first placed on the ring with its cleavage plane horizontal, in order to determine the symmetrical plane, this plane being in our case vertical and forced by the power of the magnetic poles into the equatorial*) position. After having traced on the surface of the sphere the symmetrical plane thus obtained, we placed it on the ring, with this plane horizontal. The two points, marked on the new great circle, pointing axially and equatorially, indicated the direction of the greatest and least axis of magnetic induction, the mean axis being perpendicular to the symmetrical plane. The two principal planes perpendicular to the symmetrical plane were likewise marked on the surface of the sphere by great circles, one of which, passing through the least and mean axis, is nearly coincident with the cleavage plane, the angle between the two planes being nearly 3°.

61) 1st. We tried first to determine directly the position of the two magnetic axes within the symmetrical plane, by turning the sphere,

*) [Im Original steht *axial*, nach den Angaben in Nr. 18 und dem Folgenden muss es aber *equatorial* heissen.]

when influenced by the poles, around the mean axis, the symmetrical plane remaining always vertical. But here we observed that the passage from the axial position of the symmetrical plane to the equatorial one takes place gradually, the crystal passing through all intermediate positions while it rotates through several degrees round the mean axis of rotation. This mode of determining ω admits therefore of no great accuracy.

The inclination of the cleavage plane to the horizontal plane was determined, when the symmetrical plane pointed 45°, bisecting the angle between the axial and the equatorial plane. We got for this angle, by inclining the cleavage plane on both sides, on one side 21° on the other 26°, whence $\omega = 23^1/_2{}^0$, and the angle between the normal to the cleavage plane and the greatest axis $2^1/_2{}^0$. (Instead of $23^1/_2{}^0$ we got formerly 25° (art. 21); instead of $2^1/_2{}^0$, by direct measure 3°.)

62) 2nd. Then the number of small oscillations was counted which the same sphere performed in one second, when successively suspended along its three axes of induction. In one series of observations six, in another twelve of Grove's elements were used. In both series the crystal was twice suspended along each axis. The following Table furnishes the numbers thus obtained:

Suspended along	Numbers of oscillations.		
Six elements.			
The greatest axis	$22^1/_2$	23	$\frac{1}{\Theta_{,}}$
The mean axis	53	53	$\frac{1}{\Theta_{,,}}$
The least axis	49	49	$\frac{1}{\Theta_{,,,}}$
Twelve elements.			
The greatest axis	31	$31^1/_2$	$\frac{1}{\Theta_{,}}$
The mean axis	73	73	$\frac{1}{\Theta_{,,}}$
The least axis	67	67	$\frac{1}{\Theta_{,,,}}$

From the first series of observations we get

$$\frac{1}{\Theta_{,}^2} + \frac{1}{\Theta_{,,,}^2} = 2918, \quad \frac{1}{\Theta_{,,}^2} = 2809;$$

from the second,

$$\frac{1}{\Theta_{,}^2} + \frac{1}{\Theta_{,,,}^2} = 5466, \quad \frac{1}{\Theta_{,,}^2} = 5329.$$

The differences between the two numbers thus obtained in both cases

(109 and 137), are so small, with regard to the limits of error, that the theorem of article 58 can be considered confirmed by experiment.

In order to eliminate these small differences, let us remember that the ratio of any two corresponding numbers in the two series of observations is to be the same, this ratio equaling the ratio of the inducing powers of the magnet. Again, in the two series of observations, the numbers corresponding to the same mode of suspension are likewise in the same ratio. These two conditions are fulfilled with regard to the suspensions along the greatest and mean axis. We get as nearly as possible

$$\frac{73}{53} = \frac{31}{22{,}5} = 1{,}38,$$

this number indicating the relative inducing power. We may regard, therefore, the four numbers 22,5, 31, 53, 73 as the most exact. Among all possible vertical axes of suspension, the *minimum* number of oscillations corresponds to a suspension along the greatest axis, the *maximum* number to a suspension along the mean axis. Therefore we are authorized to prefer 22,5 and 31 to 23 and 31,5. In conformity with that, we may, according to our theorem, calculate the numbers of oscillations in the third mode of suspension, which admits the greatest errors of observation. The two resulting numbers are 48,0 and 66,1, instead of 49 and 67. Finally, we obtain (34)

$$\sin \omega = \frac{22{,}5}{53} = \frac{31}{73},$$

whence

$$\omega = 25^0\ 8'.$$

63) 3rd. We shall deduce the value of ω from the observed position of an influenced crystal, suspended along any known direction. The crystals I had obtained exhibiting in a very pronounced way several faces of the primitive octahedron, we suspended one of them with such a face horizontal, and were enabled to observe with accuracy the angle between the equatorial line and an edge of the primitive octahedron, the line of intersection of the horizontal face and the cleavage plane. This angle was found to be $2^1/_2{}^0$. The same value of the angle was obtained as well by different natural crystals as by a circular plate turned out of a fine crystal, on whose base, lying in the face above mentioned, the direction of the edge was marked by a line, along which, moreover, was attached a long and very thin filament of glass, indicating more distinctly the pointing of the crystal.

Let $ABDC$ (fig. 54) be the symmetrical plane containing the two axes of greatest and least induction OX, OZ; $AEBF$ the cleavage

plane perpendicular to the symmetrical plane, and containing the mean axis OY; and lastly, $PQSR$ the horizontally-suspended face of the primitive octahedron, intersecting $ABDC$ in OS and $AEBF$ in the edge PQ. The equatorial and the axial line OT and OV lie in the horizontally-oscillating face $PQSR$; the measured angle POT equals $2^1/_2{}^0$. According to M. Heusser's measures, the inclination of the face $PQSR$ to the cleavage plane is $51^0\ 31'$, and from his above-quoted angles (art. 17) we derive $QOB = 44^0\ 51'$. Hence, considering the rectangular spherical triangle determined by OQ, OS, OB, we get

$$QOS = 57^0\ 59', \quad BOS = 41^0\ 35^1/_2{}', \quad \varphi = 56^0\ 17',$$

denoting by φ the angle between the face in question and the symmetrical plane. The angle ZOB within the symmetrical plane being 3^0 (art. 19), we get

$$\alpha = XOS = BOS + 93^0$$
$$= 134^0\ 35^1/_2{}',$$

and in like manner

$$\lambda = VOS = POT + 90^0$$
$$- QOS = 34^0\ 31'.$$

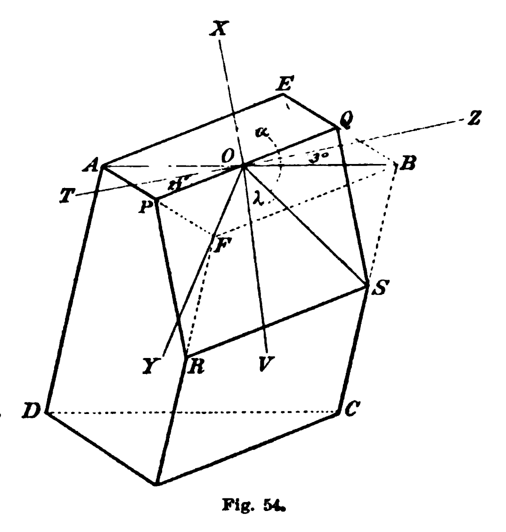


Fig. 54.

Starting from these values of the angles φ, α and λ, we obtain, by means of the formulæ (9) and (12), or (18) and (19),

$$\omega = 25^0\ 3'.^{*)}$$

*) Hitherto we have only determined, by various methods, the value of the angle ω, and thus obtained a linear relation between the three axes of the ellipsoid of induction. If, by considerations exceeding the limits of this paper, we should be enabled to get the ratio itself of these axes, we could hence deduce the form of the magnetic particles of the examined crystal, supposing that, in fact, these particles are similar ellipsoids, similarly directed, all induced by the magnetic pole, but not sensibly inducing each other. Mr. W. Thomson, however, has published [Britt. Assoc. Rep. 1848, II, S. 8—9] a curious theorem, according to which a body of any exterior shape is influenced by an infinitely distant pole like a certain ellipsoid whose axes are to be determined in each case. Hence an infinite variety of forms corresponds to a known ellipsoid of induction. Again, each physical condition of crystals leading to our ellipsoid of magnetic induction has, to the present time, independently of Poisson's hypothetical views on matter, the same claim to be the law of nature. We may generally conceive an amorphous substance to consist of equal particles, pointing in all

64) After having expounded the general theory of the magnetic induction of crystals, we may easily apply it to the case where the auxiliary ellipsoids are *ellipsoids of revolution*, and therefore the two magnetic axes coincident along the same line. The crystals in this case are to be called *uniaxal*. We may distinguish too *positive* and *negative* uniaxal crystals. In positive crystals $b^2 = c^2$, and therefore $\omega = 0$; in negative crystals $a^2 = b^2$, and therefore $\omega = 90^\circ$. The induction in both cases may be as well a diamagnetic as a paramagnetic one.

65) Since the two axes of the horizontal section of the first auxiliary ellipsoid point axially and equatorially, as they do in the general case, the position of a uniaxal crystal, when suspended between the two poles along any of its diameters, is immediately obtained. Here the axis of revolution, *i. e.* the magnetic axis of the crystal, when projected on the horizontal plane, is one of these two axes, the other being the intersecting line of the equatorial plane of the ellipsoid and the horizontal plane. If the crystal be positive, this intersecting line is coincident with the shorter axis of the elliptical section within the horizontal plane; if it be negative, which the longer axis. Hence a paramagnetic crystal, when positive, sets its magnetic axis in the axial, when negative, in the equatorial plane of the electro-magnet. In diamagnetic crystals, when positive, the magnetic axis is forced into the equatorial, when negative, into the axial plane. In order to give a true description of this fact, you may say, in all cases the magnetic axis of the crystal is either attracted or repelled by the poles.

This law can easily be verified in a most distinct way by a great number of paramagnetic and diamagnetic, positive and negative crystals. I think it therefore not necessary to refer here to new experiments.

66) In most cases the magnetic axis is known, if not, it can easily be found by suspending the crystal along any two vertical axes. Mark in both suspensions, if the crystal be positive and paramagnetic, or negative and diamagnetic, on its surface the axial plane, if it be positive and diamagnetic, or negative and paramagnetic, the equatorial plane; in both cases the line of intersection within the crystal of the two planes marked on its surface is the magnetic axis.

different directions, which by the act of crystallization become directed in the same way. But I think it probable we shall obtain the same results by admitting spherical particles, which, according to their different proximity along different directions within the crystal, will equally lead, by their mutual induction, to three axes of induction; thus each such particle may possibly be acted upon in the same way as our ellipsoidal particles.

67) The law of the small oscillations of the crystal, which again, for simplicity, we suppose of a spherical form, when suspended between the poles along any vertical axis, is represented by the former equations (33) and (35), now simplified thus:

$$\Theta = \frac{2MR^2\pi^2}{5\varphi^2(a^2 - c^2)} \cdot \frac{1}{\sin^2\psi} \tag{37}$$

$$\Theta_0 = \Theta \sin\psi, \tag{38}$$

denoting by Θ the time of one oscillation, if the angle between the magnetic axis and the vertical axis of suspension equal ψ, and Θ_0 the time of one oscillation if $\psi = 90^0$, *i. e.* if the magnetic axis oscillate horizontally.

68) Remembering a former observation, according to which sulphate of iron, although belonging to the clinorhombic system, ranges among uniaxal crystals, having its magnetic axis within the symmetrical plane, I selected this salt to verify the last formula. I provided a small but most homogeneous and transparent sphere, on whose varnished surface the symmetrical plane was marked by a great circle.

We succeeded first in establishing the former observation. The sphere of sulphate of iron was suspended between the two poles, as formerly the sphere of formiate of copper was, with this difference only, that, on account of the stronger paramagnetic induction, we made use of only two Grove's elements instead of six. The sphere was first placed on the ring with the symmetrical plane horizontal, and the direction within it pointing axially marked by a point on the corresponding great circle. The sphere being then placed on the ring, with the symmetrical plane vertical and the marked point situated in the vertical axis of suspension, did not move under the influence of the magnetic poles. Hence sulphate of iron is a uniaxal positive and paramagnetic crystal.

The sphere was then put on the ring successively with its symmetrical plane horizontal, and inclined 45^0 alternately on one side and the other.

The symmetrical plane.	Number of seconds required for twenty oscillations.	
Inclined $+ 45^0$	60	
Horizontal		44
Inclined $- 45^0$	64	
Horizontal		45
Inclined $+ 45^0$	61	
Horizontal		46
Inclined $- 45^0$	$65\frac{1}{2}$	
Horizontal		45
Inclined $+ 45^0$	$63\frac{1}{2}$	
Mean numbers	$62{,}8 = \Theta$	$45 = \Theta_0$

Hence

$$\frac{\Theta_0}{\Theta} = 0{,}717, \quad \sin\psi = \sin 45^0 = 0{,}707;$$

therefore, in this case also, the theory is fully confirmed by experiment.

69) Being desirous of examining in like manner a uniaxal and diamagnetic crystal, I selected a beautiful specimen of crystallized bismuth, showing the cleavage in the most perfect way. A sphere, 0,79 of an inch in diameter, was turned out of it, and on its surface was traced the equatorial circle, indicating the cleavage plane, and any meridional circle passing through the magnetic axis. But this sphere, on account of the electric currents excited within it, while it oscillates between the two poles, could not be subjected to experiment in the same way as the sphere of sulphate of iron. This is the case with regard to all substances enjoying a great conducting power, and not being magnetically influenced in so high a degree as iron, cobalt, and nickel.

70) Therefore, in order to verify the theory which has been expounded with regard to our sphere of crystallized bismuth, when suspended along its different diameters, we were obliged to recur to the formula (24), expressing the moment of rotation (L) round any vertical axis,

$$(39) \qquad L = \tfrac{1}{2}\varphi^2(a'^2 - b'^2)\sin 2\vartheta = \tfrac{1}{2}\varphi^2(a^2 - c^2)\sin^2\psi \sin 2\vartheta.$$

In this formula the angle between the vertical great circle of the sphere passing through the magnetic axis and the axial plane is denoted by ϑ, and the angle taken on the same great circle between the magnetic and the vertical axis by ψ. Denoting the value of the moment corresponding to $\psi = 90^0$, where the magnetic axis is horizontal, by L_0, we obtain

$$(40) \qquad L = L_0 \sin^2\psi.$$

The angle ψ remaining the same, the maximum of L corresponds to $\vartheta = 45^0$; denoting this maximum by L^0, we get

$$(41) \qquad L = L^0 \sin 2\vartheta.$$

71) The sphere of crystallized bismuth was placed on a ring of very thin, not paramagnetic, copper wire, attached by three silk threads to the platinum wire of the torsion-balance. The centre of the sphere was brought into the middle point between the two poles, its marked meridional great circle remaining always vertical.

When the equatorial great circle was horizontal, there was no sensible direction; the torsion-wire being turned through any angle,

the sphere rotated round its vertical axis through the same angle. When the equatorial circle was more and more inclined, the directing power emanating from the poles, *i. e.* the moment L, increased till the equatorial plane became vertical, and therefore the magnetic axis horizontal. Let us consider in a more special way this last case, corresponding to $\psi = 90^0$, and the case corresponding to $\psi = 45^0$. In all cases the marked meridional plane points axially: so it did in our two cases most exactly, after it had been brought by means of the torsion-balance into that position while the current was interrupted. The current being established, by turning the platinum wire the meridional circle was brought out of the axial position. If the number of degrees through which the wire rotated be δ, and the declination of the meridional plane of the sphere from the axial position ϑ, the number $\delta - \vartheta$ indicates the value of the moment of rotation in the corresponding position of the crystal. The number of degrees $(\delta - \vartheta)$ corresponding to different values of ψ, but to the same declination ϑ of the meridional plane of the crystal from the axial position; is proportional to $\sin^2 \psi$. In our two cases these corresponding numbers are in the ratio of $2:1$. It was confirmed by experiment.

72) While in the first suspension the torsion-wire was slowly turned, the angle of declination more and more increased; but finally, just when it reached 45^0, corresponding to a certain value of δ, the crystalline sphere was suddenly driven into a nearly opposite position of stable equilibrium. A similar reversion took place after a rotation of the wire of the torsion-balance in the same sense through 180^0 more, and so on. In our second case, we got the same phenomena, with this difference only, that the first reversion took place when the torsion-wire was turned through a smaller number of degrees. In both cases we made use of twelve of Grove's elements.

In the first case, the value of δ, in the moment when the first reversion took place, in two successive observations was found to be

$$\left.\begin{matrix}561\\563\end{matrix}\right\}\text{Mean } 562;$$

in the second case, we obtained

$$\left.\begin{matrix}295\\300\end{matrix}\right\}\text{Mean } 297{,}5;$$

whence

$$\frac{297{,}5 - 45}{562 - 45} = \frac{252{,}5}{517} = 0{,}488\,,$$

consequently very near the value of $\sin^2 \psi = 0{,}5$.

73) The declination (ϑ') of the meridional plane, after the rever-

sion of the crystal, may easily be calculated. Let the number of degrees, through which the meridional plane rotates, when passing from the position of unstable equilibrium, corresponding to $\vartheta = 45^0$, into the new position of stable equilibrium, be denoted by z, whence $\vartheta' = z + 45$. Then, according to (41), we get

$$\sin 2(z - 135) = \frac{\delta - 45 - z}{\delta - 45},$$

whence

$$\sin^2 z = \frac{z}{2(\delta - 45)}. \tag{42}$$

In our first case, where $\delta - 45 = 517$, we obtain

$$z = 157{,}05^0, \quad \vartheta' = 180^0 + 22^0\, 3';$$

in the second case, where $\delta - 45 = 252{,}5$,

$$z = 147{,}30^0, \quad \vartheta' = 180^0 + 12^0\, 18'.$$

The values, according to an approximative estimation, agree with observation.*)

---

*) The same mode of experimenting may be applied to the general case of biaxal crystals, by substituting for the formula (39)

$$L = \tfrac{1}{2}\varphi^2(a^2 - c^2) \sin\psi \sin\psi' \sin 2\vartheta,$$

denoting, as we did before, the angles between the vertical and the two magnetic axes by ψ and ψ'. When the vertical axis successively coincides with the axes of greatest, mean, and least induction, the corresponding moments of rotation are

$$L_{,} = \tfrac{1}{2}\varphi^2(a^2 - c^2) \sin^2\omega \sin 2\vartheta,$$
$$L_{,,} = \tfrac{1}{2}\varphi^2(a^2 - c^2) \sin 2\vartheta,$$
$$L_{,,,} = \tfrac{1}{2}\varphi^2(a^2 - c^2) \cos^2\omega \sin 2\vartheta;$$

whence, corresponding to any value of ϑ,

$$L_{,} : L_{,,} : L_{,,,} = \sin^2\omega : 1 : \cos^2\omega.$$

Hence we may determine by experiment the position of the two magnetic axes of a crystal in the following new way, allowing of great accuracy. Attach the crystal, after having given to it the form of a sphere, to the wire of the torsion-balance, and let there be no torsion when the sphere influenced by the poles takes a certain direction. Let, successively, the axis of greatest, mean, and least induction be vertical, and determine in each suspension the number of degrees through which the torsion-wire, slowly turned, rotates till the reversion of the sphere takes place. *The sum of the numbers thus obtained in the first and the third case equals the number obtained in the second case.* The first number divided by the second equals $\sin^2\omega$; the third by the second, $\cos^2\omega$; the first by the third, $\tan^2\omega$.

IV.

Position of the three axes of magnetic induction with regard to the primitive form, in crystals belonging to different systems.

74) A great number of crystals, the finest of which were supplied by the extreme liberality of Professor Böttger of Frankfort, have been examined by myself in connexion with Professor Beer, in order to establish their optic as well as magnetic properties, with regard to their crystalline form. The results are published in two papers in Poggendorff's „Annalen". [Abh. 17.] A third paper, ready to be sent to press nearly two years ago, did not appear, since, according to the newly-adopted theory, I found it necessary to present the results obtained by experiment in a different way. From these papers are taken nearly all the observations referred to in this section.

75) In crystals having *no* plane of symmetry, there is not the least indication of the position of the three unequal axes of magnetic induction. In no case has the position of these axes been determined.

Sulphate of copper is a crystal of this kind, strongly exhibiting the extraordinary action. I provided a sphere, turned out of a large crystal, in order to determine the position of the three axes of induction, and hence the two magnetic axes. According to art. 39, I intended to trace on its surface the two curves indicating the diameters which point axially and equatorially, when the sphere, suspended between the two poles, rotates successively round any two horizontal diameters. The practicability of this proceeding had been previously proved in the case of crystals belonging to a different system; but here we did not succeed, on account of the want of homogeneity of the sphere of sulphate of copper, which in its different parts contained different quantities of sulphate of iron.*)

Cyanite furnishes another instance of extraordinary paramagnetic induction. Strongly paramagnetic prisms of this mineral show the extraordinary action, when suspended horizontally, in a sensible way, *even under the magnetic induction of the earth.* Rotating round their horizontal axis, they point towards different azimuths.

*) All specimens of copper, except of English, which I had the opportunity to examine, were found to be strongly paramagnetic, even such specimens as were obtained by galvano-plastic disposition; so were all salts of its oxides. I was first inclined to attribute the paramagnetic condition in both cases to unmixed iron; but on closer examination, I convinced myself that oxide of copper is paramagnetic *per se*, and so are all its salts; in like manner as copper, dioxide of copper and its salts (sulphite of copper and ammonia, $CuSO_3 \cdot (NH_4)_2SO_3$) are diamagnetic.

Bichromate of potash shows very distinctly the extraordinary paramagnetic, racemic acid the extraordinary diamagnetic induction.

76) The crystals *having a single plane of symmetry* may be referred to an oblique prism with a rhombic base, the plane of symmetry passing through one of the diagonals of the base. Two axes of paramagnetic induction always lie in the plane of symmetry, the remaining third one being perpendicular to it. When any crystal of this system is to be examined, you may suspend it first along the line perpendicular to the symmetrical plane, and mark within this plane the directions both axial and equatorial. These two directions, representing the two axes of induction within the symmetrical plane, are not at all indicated by the crystalline form; they are to be found by experiment. The crystal, when successively suspended along each of the three axes of paramagnetic induction, sets one of these axes twice axially, another one twice equatorially. In the case of paramagnetic induction, the first axis is the longest, the second the shortest. In the case of diamagnetic induction, the second axis, pointing twice equatorially, is the longest, the first the shortest one. In both cases, the two magnetic axes lie in the plane passing through these two axes of induction. Therefore the plane containing the two magnetic axes is either coincident with the symmetrical plane, or is perpendicular to it. We may distinguish three different cases, whether the crystal be paramagnetic or diamagnetic: 1. the axis of greatest, 2. the axis of least, 3. the axis of mean magnetic induction is perpendicular to the plane of symmetry. In the first two cases, the plane containing the two magnetic axes is perpendicular to the symmetrical plane, in the third case it falls within it.

	Paramagnetic crystals.	Diamagnetic crystals.
First case . .	Diopside. Red ferridcyanide of potassium.	Hyposulphite of soda $[Na_2S_2O_3 + 5H_2O]$.
Second case .	. . . .	Acetate of soda $[NaC_2H_3O_2 + 3H_2O]$. Acetate of lead $[PbC_4H_6O_4 + 3H_2O]$.
Third case .	Formiate of copper $[CuC_2H_2O_4 + 4H_2O]$. Acetate of copper $[CuC_4H_6O_4 + H_2O]$.	

77) The crystals whose primitive form can be referred to a right prism with a rhombic base have *three planes of symmetry*, intersecting

each other along the three axes of magnetic induction. We can, as we did in the former case, determine, by suspending the crystal successively along each of these axes, which of them is the longest, mean and shortest. Tho two magnetic axes, always to be sought within the plane of the longest and the shortest axis of induction, lie in any one of the three planes of symmetry. We may distinguish six different cases, as well of paramagnetic as diamagnetic induction.

Whe shall denote, as we did in the first section, the axis of the right prism, the shorter and the longer diagonal of its base, by α, $\varkappa$, λ, the longest axis of the ellipsoid of induction (art. 47) being always a^2, the mean b^2, and the shortest c^2. The six cases above mentioned may then be enumerated thus:

	a^2	b^2	c^2		
	falling within				
1.	$\varkappa$	α	λ	paramagnetic,	Sulphate of nickel.
				„	Sulphate of nickel and zinc.
				diamagnetic,	Seignette's salt.
2.	λ	α	$\varkappa$		
3.	α	$\varkappa$	λ	diamagnetic,	Aragonite.
				„	Sulphate of zinc.
4.	λ	$\varkappa$	α	paramagnetic,	Staurolite.
				„	Ferridcyanide of lead ($3PbCy_2 + Fe_2Cy_6$)
				„	Sulphate of zinc and iron.
				„	Sulphate of magnesia and iron.
				diamagnetic,	Anhydrite.
				„	Hyposulphate of soda ($Na_2S_2O_6 + 2H_2O$).
5.	α	λ	$\varkappa$		
6.	$\varkappa$	λ	α	paramagnetic,	Ferridcyanide of potassium.
				diamagnetic,	Sulphur.
				„	Citric acid.

In the cases 1 and 2, the two magnetic axes lie in the base of the right prism; in the cases 3 and 4, in the plane passing through its axis and the longer diagonal of its base; in the cases 5 and 6, in the plane passing through its axis and the shorter diagonal of its base.

In all cases, either the acute or the obtuse angle between the two magnetic axes is bisected by the axis of greatest magnetic induction. We shall count the angle 2ω from 0^0 to 180^0, this angle being always bisected by the axis of greatest induction. (If this angle be counted up to 90^0 only, we may, analogously as in optics, accor-

ding as the acute angle between the magnetic axes is bisected by the axis of greatest or by the axis of least induction, call the crystals magnetically positive or negative.)

78) In crystals having *one straight line of symmetry* — primitive form: rhombohedron, prism with a hexagonal base, prism with a square base — the ellipsoid of induction becomes a spheroid whose axis of revolution coincides with the line of symmetry. This line is likewise the magnetic axis. We meet in each of the two cases of magnetic induction with two classes of crystals. Here the crystals of the first class shall be called *positive*, of the second class, *negative*. In positive crystals the line of symmetry coincides with the axis of greatest paramagnetic or diamagnetic induction, in negative crystals with the axis of least induction. A uniaxal crystal, when suspended along any vertical axis, sets, if paramagnetic and positive or diamagnetic and negative, its magnetic axis in the axial; if paramagnetic and negative or diamagnetic and positive, in the equatorial plane.

Paramagnetic crystals.

Positive ($b^2 = c^2$).	Negative ($a^2 = b^2$).
Carbonate of iron.	Tourmaline.
Scapolite.	Beryl.
Green uranite.	Dioptase.
Acetate*) of copper and calcium.	Vesuvian.
Sulphate of magnesia (containing iron).	Sulphate of nickel [$NiSO_4 + 6H_2O$].
	Chloride of ammonium and copper ($NH_4Cl \cdot CuCl + 2H_2O$).

Diamagnetic crystals.

Positive ($b^2 = c^2$).	Negative ($a^2 = b^2$).
Calcareous spar.	Bismuth.
Antimony.**)	Arsenic.
Molybdate of lead.	Ice.
Arseniate of lead.	Zircon.
Sulphate of potash.	Honeystone.
Nitrate of soda.	Cyanide of mercury.
	Arseniate of ammonia [$H_2NH_4AsO_4$].

79) In all crystals belonging to the *tesseral* system, the ellipsoid

*) [Im-Original steht *sulphate*, es ist aber von Plücker das *Acetat* untersucht worden; vgl. S. 204.]

**) [Antimon ist nach Grailich und v. Lang, in Uebereinstimmung mit den Beobachtungen Faraday's, *negativ*.]

of magnetic induction is reduced to a sphere, its three axes being equal to each other. There is *no* extraordinary action.

80) In different biaxal crystals the angle (2ω) between the two magnetic axes passes through all degrees from 0^0 to 180^0. It is about 90^0 in sulphate of zinc. It is small in staurolite, near 180^0 in Seignette's salt. In both cases the two magnetic axes approach to the longer diagonal of the base of the primitive right prism; in the second case the difference between the greatest and mean, in the first case the difference between the mean and least axis of induction is small. Along the longer diagonal the paramagnetic induction of staurolite is greatest, the diamagnetic induction of Seignette's salt least. The plane containing the two axes has been determined by observation; it passes in the first case through the axis of the prism, in the second case it coincides with its base.

But if, in the case of three unequal axes of induction, the difference between any two of these axes becomes too small, the crystal, when examined between the poles, will exhibit the appearances of a crystal with only one magnetic axis. Crystals of this kind are the following ones: — Sulphate of iron, succinic acid, borax, cyanide of nickel and potassium.

Sulphate of iron, showing very strongly the extraordinary paramagnetic induction, may be regarded as a positive uniaxal crystal; its magnetic axis coincides with Fresnel's axis of greatest elasticity, being, within the plane of symmetry, inclined 75^0 to the cleavage plane.

Succinic acid, showing strongly the extraordinary diamagnetic induction, may be regarded as a positive uniaxal crystal, whose magnetic axis coincides likewise with Fresnel's axis of greatest elasticity.

Borax may be regarded as a diamagnetic negative crystal; its magnetic axis, coinciding with Fresnel's axis of least elasticity, is parallel to the plane of symmetry (the cleavage plane).

Cyanide of nickel and potassium also ranges among diamagnetic negative crystals; its magnetic axis coincides with Fresnel's axis of least elasticity, and accordingly lies in the plane of symmetry.

81) A crystal not belonging to the tesseral system will nevertheless show no extraordinary magnetic action, if all its three axes of induction are nearly equal to one another. This is the case in the following crystals: Oxide of iron (Eisenglanz), yellow ferrocyanide of potassium, cyanide of copper and potassium, quartz, sulphate of potash (whose primitive form is a rhombic prism), and topaz.

Note added during the printing of the paper.

The analogy between the phenomena presented by crystals in the case of light transmitted through them, and in the case of magnetic induction, may be fully explained by the circumstance that in both cases the laws of these phenomena depend upon an auxiliary ellipsoid. The diameters of the *optic* auxiliary ellipsoid represent the values of the reciprocal of the elasticity of the ether within the crystal; two of its axes coincide with the directions of the greatest and the least elasticity, the third and mean axis being perpendicular to these. On the other hand, the axes of the *magnetic* auxiliary ellipsoid are directed along the lines of the greatest, the least, and the mean magnetic induction, and their lengths represent the values of the reciprocal of these three inductions.[9]) This analogy becomes the more perspicuous and striking by the fact, that in the first case the *optic axes*, i. e. the two directions along which there is no double refraction, are perpendicular to the circular sections of the optic auxiliary ellipsoid; while in the second case, the *magnetic axes*, i. e. two lines such that the crystal on being suspended along either of them, between the two magnetic poles, is not acted upon by these poles in any extraordinary way, are perpendicular to the circular sections of the magnetic auxiliary ellipsoid.

In crystals with only one principal crystallographic axis, both auxiliary ellipsoids, the optic and the magnetic, become ellipsoids of revolution whose principal axis coincides with the crystallographic axis. In crystals whose primitive form is a right prism with a rhombic base, the three axes of both auxiliary ellipsoids are directed along the three principal crystallographic axes, but in both cases there is no indication at all given about the relative length of the three axes. In crystals belonging to the monoclinic system there is only one axis common to both auxiliary ellipsoids, this axis being perpendicular to the symmetric plane; the two remaining axes of both ellipsoids lie in this plane, where their position, not indicated by any general law, may be easily found by observation. In triclinic crystals there is no indication whatever given by the crystallographic form, regarding the position of the axes of the two ellipsoids, and therefore the determination of these axes is more difficult.

When a plane luminous wave is transmitted through a crystal along any direction, the vibrations in the front of the wave take place along the two axes of the ellipse, in which the optic auxiliary ellipsoid is intersected by the front. Experimentally these directions are deter-

mined by putting a plate of the crystal, bounded by faces parallel to the front of the wave, on a polarizing apparatus, and by turning it till it appears dark. Then one of the two directions of vibration lies in the primitive plane of polarization, the second is perpendicular to it. On the other hand, when a crystal is perpendicularly suspended between the two magnetic poles along any diameter of the magnetic auxiliary ellipsoid, one of the two axes of the horizontal elliptical section of this ellipsoid will point axially, the other equatorially. Fresnel showed already that, by a simple geometrical construction, the two directions of vibration of any plane luminous wave may be deduced from the position of the two optic axes. I showed in the preceding paper and proved it by observation, that exactly the same construction gives the position of a crystal freely oscillating between the two poles of a magnet: the two horizontal lines pointing axially and equatorially are immediately obtained by projecting the two magnetic axes on the horizontal plane, and by bisecting the angle between these projections. In treating the inverse problem, „to find the magnetic axes of a crystal after having determined by observation the position which the crystal takes between the two poles, when suspended along any known direction", I proposed trigonometrical formulæ, which may be generalized in the following manner. Suppose OX, OY, OZ to be the three principal axes of induction, without knowing their relative values; let, within the suspended crystal, MON be the horizontal plane passing through the centre O and intersecting the principal plane XOZ along OM; let ON be, within the horizontal plane, the line pointing either axially or equatorially. Denote by φ the angle between the planes MON and XOZ, by α and λ the angles MOX and NOM.*) Thus the position, within the crystal, of the horizontal plane is determined by the angles φ and α, the position of the crystal by the angle λ. After having determined, by means of the following two equations,

$$\tan(\eta + \alpha) = -\frac{\tan\lambda}{\cos\varphi},$$

$$\tan(\eta' + \alpha) = +\frac{\cot\lambda}{\cos\varphi},$$

the two auxiliary angles η and η', calculate the value of the expression $\tan\eta\tan\eta'$. This value may be found to be either positive or negative; if negative, the absolute value may be either < 1 or > 1. Thus we obtain *three* different cases.

*) [Vgl. Fig. 52, wo an Stelle von X, Z, N, M die Bezeichnungen A, C, M, D stehen.]

The position of the two magnetic axes is fixed by knowing the principal plane containing both axes, and the angle between each of them and a given one of the two axes of magnetic induction lying in the same plane. Denoting this angle by ω, we have, in the *first* case,

$$\tan\eta\tan\eta' = \tan^2\omega.$$

Both axes lie in the plane XOZ, ω being the angle between each of them and the axis OX. The last formula holds in both cases; the axis OX may be the axis of the greatest or of the least induction. From this axis the angle ω is to be measured.

In the *second* of the three above-mentioned cases, we obtain

$$\tan\eta\tan\eta' = -\sin^2\omega.$$

The two magnetic axes lie in the plane XOY, perpendicular to the plane XOZ, and intersecting this plane along OX, which may be the axis of greatest or least induction. The angle ω is to be measured from OX.

In the *third* case we have

$$\tan\eta\tan\eta' = -\frac{1}{\sin^2\omega}.$$

The two axes are situated in the plane ZOY perpendicular to the plane XOZ, and intersecting this plane along OZ, which may be the axis of the greatest or least induction. The angle ω is to be measured from OZ.

In the preceding paper I gave only the formula of the first case, where I supposed OX to be the axis of greatest induction. From this formula the others are easily deduced.[10])

The magnetic axes of a crystal, either paramagnetic or diamagnetic, not examined before, whose primitive form is a right prism with a rhombic base, may, for instance, immediately be found by means of these formulæ. In this case, let the axes OX, OY and OZ coincide with the crystallographic axes in any order whatever; cut by parallel planes, whose inclination to these axes is known, a plate out of the crystal; let this plate oscillate horizontally between the two poles of the magnet, and mark on its surface a line pointing either axially or equatorially. Thus the angles φ, α and λ being determined, η and η', as well as $\tan\eta\tan\eta'$, can be easily calculated. The sign and the value of the last expression shows by which of the last three equations the angle ω is to be calculated, and immediately indicates in which of the three principal planes the two magnetic axes are situated.

The position of the optic axes may be found *by the very same formulæ*. If we make use of the former plate, the angles φ and α

remain the same, the angle λ only varies and is to be determined by means of a convenient polarizing apparatus.

The optic axes relative to different colours being dispersed in the same principal plane, and even passing in certain cases from one principal plane to another, we cannot be surprised that the optic and magnetic axes are differently directed, and placed either in the same or in different planes. In ferridcyanide of potassium, for instance, the axis of the right prism is the axis of the greatest optic elasticity and of the least magnetic induction; the longer diagonal of the base is the axis of the least elasticity and mean induction; the shorter diagonal the axis of the mean elasticity and greatest induction. Therefore the two principal planes, containing the optic and the magnetic axes, intersect each other along the axis of the prism. In the case of sulphate of zinc, the axis of the prism is the axis of the mean optic elasticity and of the greatest diamagnetic induction; the longer diagonal of the rhombic base is the axis of the least elasticity as well as of the least induction; the shorter diagonal is the axis of the greatest elasticity and the mean induction. Accordingly the two optic axes lie in the base of the prism, the two magnetic axes in the plane passing through the axis of the prism and the longer diagonal of its base. In the case of formiate of copper, the mean axis of paramagnetic induction and that of optic elasticity are both perpendicular to the symmetric plane of the crystal; therefore the two optic axes and the two magnetic ones lie in this plane. By turning, within their plane, each of the two optic axes for violet light in the same direction, these axes will pass into the position of the axes for red light, and afterwards, by turning still in the same direction, into the position of the magnetic axes. In common with Professor Beer, I examined a great number of crystals, in order to find a general law between the position of the magnetic axes of a crystal and its optic axes for the different colours, but without a satisfactory result. The laws mentioned in the second paragraph of these additional pages, by means of which we can in the simpler cases deduce from the primitive form of a crystal the position of the axes of both auxiliary ellipsoids, the magnetic and the optic — and also of all such auxiliary ellipsoids regarding, for instance, molecular elasticity, conduction of heat and electricity — are all we know.

I added this note to my original paper, in order to explain more distinctly than I did before the analogy between the optic and magnetic axes, which guided me during the different stages of my researches on the magnetic induction of crystals. My intention was not at

all to enter into the mathematical solution of the great physical problem. All my experimental researches follow from the mere fact, that there exists an auxiliary ellipsoid of magnetic induction. The supposition of molecular ellipsoids of isotropic, paramagnetic or diamagnetic matter, is to be regarded as a means of discovering the mathematical laws to which the couple, tending to turn round a magnecrystal in a uniform field, was subject, and not as establishing these laws on a basis of molecular physics. Such a basis is to be obtained by Professor Thomson's theory only, which I highly regret not to have known when I wrote my paper. From this theory too, an abstract of which appeared in the Philosophical Magazine (March 1851), the above-mentioned auxiliary ellipsoid follows. Theoretically speaking, it was wrong to replace it by Poisson's auxiliary ellipsoid, but this mistake does not in the least way affect the object of the paper presented to the Royal Society.

29.

Das magnetische Verhalten der verschiedenen Glimmer und seine Beziehung zum optischen Verhalten derselben.

(Annalen der Physik und Chemie. Bd. 110, S. 397—410.)

Herr von Senarmont hat die interessante Thatsache beobachtet, dass gewisse Salze, die isomorph und von analoger chemischer Zusammensetzung sind, sich in optischer Hinsicht verschiedenartig verhalten. Wenn zwei solche Salze zum Beispiel in geraden rhombischen Säulen krystallisiren, so liegen die jedesmaligen beiden optischen Axen in zwei verschiedenen der drei auf einander senkrechten Hauptschnitte. Zwei solche Salze krystallisiren in allen möglichen Proportionen zusammen, wobei die Krystallform immer dieselbe bleibt. Wenn wir von einer Lösung eines der beiden Salze ausgehen und dieser immer neue Mengen des anderen Salzes zusetzen, so schiessen Krystalle an, die in analogen Proportionen als die Lösungen beide Salze gemengt enthalten. Die optischen Eigenschaften dieser Salzgemenge liegen in Folge einer Art von Compensation in der Mitte zwischen den optischen Eigenschaften des ersten und des zweiten Salzes, so dass, während bei dem ursprünglichen Salze die Axen in einem der Hauptschnitte der Grundform einen grösseren (spitzen oder stumpfen) Winkel bilden, dieser Winkel in Folge der zunehmenden Beimengung des zweiten Salzes immer mehr abnimmt, dann, indem die beiden Axen in ihre gemeinschaftliche Mittellinie zusammenfallen, verschwindet und endlich wieder sich in einer Ebene, die auf der früheren senkrecht ist, öffnet und in dieser Ebene, dem Axenwinkel des zweiten Salzes sich annähernd, zu wachsen fortfährt. Gerade dasselbe optische Verhalten, welches Herr Senarmont an künstlich dargestellten Krystallen nachwies, zeigen die verschiedenen, in der Natur sich fertig vorfindenden Glimmerarten. Er fand bestätigt, was Herr Sillimann früher schon beobachtet hatte, dass beim Glimmer die Ebene der beiden optischen Axen, die immer

auf der Spaltungsfläche senkrecht ist, bald durch die lange, bald durch die kurze Diagonale der Grundform geht, und dass in gewissen Uebergangsfällen die beiden Axen, wo nicht ganz, doch sehr nahe zusammenfallen. Hiernach gelangt er zu dem Schlusse, dass die verschiedenen Glimmer in verschiedenen Proportionen aus zwei zusammen krystallisirten Normalglimmern gemengt sind. Für diese Normalglimmer sind dann diejenigen zu nehmen, deren optische Axen in den beiden verschiedenen Hauptschnitten die grössten Winkel einschliessen, und wenn es wirklich einaxigen Glimmer giebt, so ist dies bloss Folge einer zufälligen Proportion der relativen Mengen der beiden Normalglimmer.[1])

Unter den 33 von Herrn von Senarmont untersuchten Glimmern, deren optische Axen mit den *langen* Diagonalen der Basis in einerlei Ebene liegen, befinden sich 5, bei welchen der scheinbare Winkel dieser Axen 4° nicht übersteigt, dann steigt dieser Axenwinkel plötzlich auf 57—58° und wächst dann stufenweise bis 76—77°. Unter den 25 untersuchten Glimmern der anderen Art, wo die optischen Axen mit den *kurzen* Diagonalen der Basis in derselben Ebene liegen, befinden sich ebenfalls 5, in welchen der Winkel dieser Axen 4° nicht übersteigt; in einem Falle beträgt er 15° und wächst dann stufenweise von 44° bis 72—73°.*)

Sobald ich von der Abhandlung des Herrn von Senarmont Kenntniss erhielt, schien es mir vom theoretischen Standpunkte aus von besonderem Interesse, durch den Versuch festzustellen, ob neben dem verschiedenen *optischen* Verhalten der Glimmer auch ein verschiedenes *magnetisches* Verhalten derselben stattfindet, und in welcher Beziehung das beiderseitige verschiedene Verhalten zu einander steht.

Die Versuche, die ich zur Zeit unserer gemeinschaftlichen magnetisch-optischen Bestimmungen mit Prof. Beer machte, erstreckten sich namentlich auch auf Seignette-Salz und das entsprechende Salz, in welchem das Kali durch Ammoniak vertreten ist, sowie insbesondere auch auf die Gemenge beider Salze, führten aber lediglich nur zur Bestätigung der von Herrn von Senarmont erhaltenen optischen Resultate, so weit diese im Eingange dieser Abhandlung festgestellt worden sind. Bei diesen Salzen, deren optisches Verhalten durch die starke Dispersion der optischen Axen noch complicirt wird, ist die magnetische Axenwirkung sehr schwach. Diese ist aber sehr ausgesprochen beim Glimmer, der in die Reihe derjenigen paramagnetischen

*) Observations sur les propriétés optiques des micas et sur leur forme cristalline; par M. H. de Senarmont. Annales de Chimie et Physique, Ser. III, T. XXXIV, p. 170 (1852).

Krystalle gehört, bei welchen ich zuerst die eigenthümliche Einwirkung des Magneten beobachtet hatte. Ich hatte nämlich beobachtet, dass eine kleine Glimmerscheibe von beliebiger Begrenzung, an einem Coconfaden horizontal zwischen den beiden (hinlänglich von einander entfernten) Polspitzen eines starken Elektromagneten aufgehängt, sich mit Entschiedenheit so einstellte, dass die Ebene der beiden optischen Axen die äquatoriale Lage annahm, was ich bei meiner damaligen, rein empirischen Auffassungsweise als eine Abstossung der beiden optischen Axen durch den Magneten bezeichnete. Der untersuchte Glimmer war aus schönen, durchsichtigen, quadratischen Tafeln von 25 bis 30^{cm} Seitenlänge genommen und stammte, wahrscheinlich sibirischen Ursprungs, aus Wien, wo er im Jahre 1836 pfundweise zu kaufen war. Diese Tafeln zeigten keine Spur der Krystallform, über welche die Bestimmung der optischen Axen den einzigen unvollkommenen Anhaltspunkt gab. Durch den Magneten lässt sich hiernach bei der fraglichen Glimmerart die Ebene der optischen Axe bestimmen, aber es bleibt unbestimmt, ob diese Ebene durch die kurze oder lange Diagonale der Grundform geht. Neuerdings erst erhielt ich durch die Freundlichkeit des Herrn von Senarmont sieben verschiedenartige, bereits optisch bestimmte Glimmer mit deutlich ausgesprochener Krystallform, die mir gestatteten, die früheren Untersuchungen wieder aufzunehmen. Zu diesen kamen nachträglich noch mehrere andere hinzu.

Das erste bei allen Glimmerarten (ich untersuchte zunächst solche, deren optische Axen einen grösseren Winkel bildeten) bestätigte Resultat bestand darin, dass bei horizontaler Aufhängung einer Glimmerscheibe die Ebene der optischen Axen sich *immer* äquatorial stellt, *gleichviel ob diese Ebene durch die kurze oder lange Diagonale der Basis der Grundform geht.*

Einer der untersuchten Glimmer, bräunlich gelb und gut durchsichtig, bildete eine rhombische Tafel von 33^{mm} Seitenlänge, deren lange und kurze Diagonale mit den bezüglichen Diagonalen der Grundform zusammenfielen. Der Winkel der beiden optischen Axen war ein grösserer, und die Ebene derselben ging durch die *lange* Diagonale. Aus dieser Tafel wurde ein kleineres Rechteck geschnitten, das seine grössere Dimension nach den langen Diagonalen hatte. Dieses Rechteck wurde horizontal zwischen den Polspitzen aufgehängt, es erwies sich, wie alle Glimmer, paramagnetisch und stellte sich mit seiner Längenrichtung, also der äusseren Form entgegen, äquatorial. Also Abstossung durch den Magneten desjenigen Hauptschnittes, der auf der Spaltungsfläche senkrecht steht und die lange Diagonale enthält.

Eine natürliche, für das Auge regelmässige sechsseitige Glimmer-

tafel von 10^{mm} Seitenlänge stellte sich, horizontal zwischen den Polen aufgehängt, mit einer ihrer drei Diagonalen äquatorial. Diese Diagonale war hiernach nothwendig die kurze Diagonale der Grundform, weil einerseits eine solche sechsseitige Platte aus dem Verschwinden der spitzen Kanten der rhombischen Säule der Grundform sich ableitet, und folglich die kurze Diagonale zwei gegenüberliegende Eckpunkte der sechsseitigen Tafel verbindet, während die lange Diagonale, die auf ihr senkrecht steht, durch die Mitten zweier gegenüberliegenden Seiten der Tafel geht; und weil anderseits nach den Gesetzen der magnetischen Axenwirkung bei Aufhängung nach der Säulenaxe *eine* der beiden Diagonalen der Grundform sich äquatorial stellen muss, während die jedesmalige andere sich axial stellt. Durch dieselbe Diagonale der sechsseitigen Tafel, die sich äquatorial stellte, ging auch die auf derselben senkrechte Ebene der optischen Axen, eine neue Bestätigung, dass diese Diagonale die *kurze* Diagonale der Grundform ist. Die Tafel in ihrer ganzen Dicke war undurchsichtig. Bei abgelösten dünnen Blättchen, die durchsichtig und im durchgehenden Lichte schön hellroth waren, liess sich das optische Verhalten mit Sicherheit bestimmen. Es wird also der auf der Platte senkrechte, durch die *lange* Diagonale gehende Hauptschnitt nicht, wie im vorigen Falle, von dem Magneten abgestossen, sondern angezogen, dem entsprechend, dass die Ebene der beiden optischen Axen nicht mehr in diesen Hauptschnitt fällt, sondern auf demselben senkrecht steht.

Noch bei *vier* anderen der untersuchten Glimmer ging die Ebene der optischen Axen durch die *kurze* Diagonale der Grundform; dieselbe Diagonale richtete sich bei horizontaler Aufhängung zwischen den Polspitzen auch gegen den Magnetismus der Form äquatorial. Der erste derselben von unbekanntem Ursprunge war durchsichtig und grünlich. Der zweite stammte vom Baical-See in Sibirien, und die beiden optischen Axen bildeten einen Winkel von 32°. Der dritte Glimmer, in dünneren Blättchen schön durchsichtig und von gelblicher Farbe, war aus Schottland. Er bildete eine abgeleitete rhomboïdische Säule, deren zwei Seitenflächen Spaltungsflächen waren, während die beiden übrigen gegenüberstehende Randkanten der Grundform fortgenommen hatten. Die beiden Endflächen der abgeleiteten Säule waren nicht vollständig ausgebildet, entsprachen aber denjenigen beiden Seitenflächen der Grundform, welche nach der Entkantung noch übrig geblieben waren. Die Ebene der optischen Axen, senkrecht auf denjenigen Seitenflächen der abgeleiteten Säule, welche Spaltungsflächen sind, bildete mit den Seitenkanten dieser Säule, die zugleich Randkanten der Grundform sind, Winkel von 60° und ging darum durch die *kurze*

Diagonale. Der vierte Glimmer bestand aus schönen Tafeln mit einer in ihrer ganzen Länge vollständig ausgebildeten Seitenfläche; wenn es nicht selbst sibirischer Glimmer war, so hatte er wenigstens ganz das Ansehen desselben.

Ein Glimmer der anderen Art, von unbekanntem Fundorte, bei welchem der scheinbare Winkel der optischen Axen 60° betrug, stellte sich mit der durch die *lange* Diagonale gehenden Ebene dieser Axen wie in dem früheren Falle äquatorial. Ein entschiedenes Bestreben, dieselbe Stellung gegen die äussere Form und Torsion anzunehmen, wurde bei einem zweiten, von Herrn von Senarmont bereits bestimmten, Glimmer dieser Art beobachtet, bei welchem der Winkel der beiden optischen Axen *sehr klein* war.

Aus einer schönen, durchsichtigen Tafel *optisch einaxigen Glimmers* von gelblicher Färbung wurde eine Scheibe von 14^{mm} Durchmesser und 1^{mm} Dicke hergestellt und an einem einzelnen Coconfaden zwischen den Polspitzen horizontal aufgehängt. Eine Richtung wurde nicht bemerkt, sie folgte lediglich der Torsion des Fadens. *Optisch einaxiger Glimmer verhielt sich auch in magnetischer Hinsicht einaxig.*

Glimmerplatten stellen sich, *vertical* zwischen den Polspitzen aufgehängt, in Folge ihres Paramagnetismus immer axial. Um zu entscheiden, ob diese Stellung lediglich von der äusseren Form bedingt wird, oder ob dabei zugleich auch die magnetische Axenwirkung im Spiele ist, musste eine Säule aufgefunden oder künstlich hergestellt werden, in welcher die Dimension nach der Axe (der Grundform) die vorherrschende war. Es gelang mir lange nur eine solche sechsseitige Säule von *undurchsichtigem* Glimmer aufzufinden. Diese Säule, 9^{mm} hoch und 5^{mm} dick, wurde zuerst vertical aufgehängt und stellte sich dabei mit einer Diagonale der beiden sechseckigen Begrenzungsflächen, also mit der kurzen Diagonale der Grundform, entschieden axial. Horizontal aufgehängt, stellte sie sich bei jeder Drehung um ihre Axe, insbesondere auch wenn jede der beiden Diagonalen der Grundform nach einander senkrecht war, mit der Axe äquatorial und zwar gegen die äussere Form. Es folgt hieraus, dass die drei Axen der grössten, mittleren und kleinsten Induction bezüglich in die kurze Diagonale, die lange Diagonale und die Säulenaxe fallen, und mithin die beiden magnetischen Axen (nach welchen aufgehängt der Krystall sich wie eine amorphe paramagnetische Masse verhält) in den durch die Säulenaxe und die kurze Diagonale der Basis gehenden Hauptschnitt. Ganz ebenso verhielt sich eine grössere Säule von norwegischem Magnesia-Glimmer.

Wir könnten uns vielleicht für berechtigt halten, die optischen

Axen unseres undurchsichtigen Glimmers (das Wort verliert auch bei undurchsichtigen Körpern seine Bedeutung nicht ganz) in der Ebene der langen Diagonale, die sich bei horizontaler Aufhängung der Säule äquatorial stellt, anzunehmen. Dann würden, zugleich mit Rücksicht darauf, dass Glimmer ein negativer optisch-zweiaxiger Krystall ist, die Ebenen der optischen und magnetischen Axen auf einander senkrecht stehen, die Durchschnittslinie beider Ebenen würde die Axe der grössten optischen Elasticität und der kleinsten magnetischen Induction sein, die Axe der kleinsten optischen Elasticität würde auf der Axe der mittleren magnetischen Induction, und die Axe der mittleren optischen Elasticität auf der Axe der grössten magnetischen Induction senkrecht stehen.

Bei der verschiedenen chemischen Zusammensetzung der Glimmer würde es aber jedenfalls misslich sein, das magnetische Verhalten, soweit es sich aus der horizontalen Aufhängung der undurchsichtigen Glimmersäulen allein ergiebt, ohne Weiteres auf alle durchsichtigen Glimmer zu übertragen. Darum schien es geboten, eine allgemeine Folgerung erst dann zu ziehen, nachdem auch durchsichtiger Glimmer derselben direkten Prüfung unterworfen worden war. Hierzu eignete sich der früher schon erwähnte Krystall schottischen Ursprungs, der die äussere Form einer rhomboïdischen Säule hatte. Die Länge dieser Säule betrug beiläufig 30^{mm}, ihre Dicke senkrecht gegen die Spaltungsflächen, die zugleich Seitenflächen der natürlichen Säule waren, 8^{mm}, und die Breite dieser Seitenflächen etwa das Doppelte. Die Säule wurde senkrecht gegen die Spaltungsflächen in den Schraubstock eingeklemmt, und es gelang durch Feilstriche, die behutsam nach der Richtung der Seitenkanten geführt wurden, aus ihr zunächst eine rechtwinklige Säule mit unveränderter Kantenrichtung herzustellen, die fortwährend durch die früheren Spaltungsflächen, deren Abstand 8^{mm} betrug, begrenzt wurde, während der Abstand der beiden angefeilten neuen Seitenflächen nur $6{,}5^{mm}$ betrug. Diese Säule wurde ihrer Länge nach vertical zwischen den Polspitzen aufgehängt und stellte sich dabei sehr entschieden mit der Spaltungsfläche axial, also mit der darauf senkrechten Säulenaxe der Grundform äquatorial. Bei dieser Aufhängung war keine der drei Hauptaxen magnetischer Induction vertical, die Aufhängungsaxe bildete mit der langen Diagonale der Basis der Grundform einen Winkel von 30^0, mit der kurzen Diagonale einen Winkel von 60^0. Aus dieser Aufhängung folgt zunächst nur, dass die Induction nach der Säulenaxe der Grundform kleiner ist, als nach der langen Diagonale, das heisst derjenigen Diagonale der Basis, nach welcher die magnetische Induction die grössere ist. Dass diese In-

duction auch kleiner ist als die Induction nach der kurzen Diagonale, war nicht erwiesen, liess sich aber mit einiger Sicherheit aus der Entschiedenheit, mit welcher der Krystall bei der letzten Aufhängung sich einstellte, voraussehen. Bei einer (schiefen) Aufhängung der Säule nach der langen Diagonale richtete sich der Krystall mit der Säulenaxe der Grundform, wie früher, äquatorial, aber es blieb unentschieden, wieviel hierbei auf Rechnung der Form kam. Um jeden Zweifel zu heben, musste der Versuch gemacht werden, auch auf die Gefahr hin, dass der Krystall bei einer neuen Bearbeitung in dünne Blättchen sich spalten würde, aus der obigen Säule eine Säule von solchen relativen Dimensionen herzustellen, dass bei einer Aufhängung nach der langen Diagonale der Grundform eine axiale Richtung der kurzen Diagonale mit der äusseren Form in Widerspruch sein würde. Zu diesem Ende wurden zwei gegen die Spaltungsfläche senkrechte Schnitte, die mit den Seitenkanten der bisherigen Säule Winkel von 60° bildeten, so geführt, dass dadurch eine gerade rhombische Säule entstand, die der Grundform entsprach. Diese gerade rhombische Säule wurde dann durch Fortnehmen der spitzen Seitenkanten in eine regelmässige sechsseitige Säule umgestaltet, in welcher die Dimension nach der Axe, die auf den Spaltungsflächen senkrecht stand, die überwiegende war. Diese Säule, deren Herstellung bei den genommenen Vorsichtsmaassregeln vollständig gelang, hatte die Form der früher untersuchten undurchsichtigen Säule und konnte in gleicher Weise wie diese dem Versuche unterworfen werden.

Es steht hiernach fest, dass beim zweiaxigen Glimmer die Axe der rhombischen Säule der Grundform immer Axe *der kleinsten magnetischen Induction*, sowie Axe der grössten Elasticität ist. Beim einaxigen Glimmer fallen die beiden magnetischen Axen, wie die beiden optischen Axen, in die Axe der rhombischen Säule zusammen, und es war nicht ohne Interesse, durch den Versuch direkt festzustellen, ob auch hier die magnetische Induction nach der Säulenaxe die kleinste, oder was dasselbe heisst, ob auch in magnetischer Hinsicht der Krystall ein *negativ* einaxiger ist. Da keine Aussicht vorhanden war, eine natürliche Säule einaxigen Glimmers mit vorherrschender Längendimension senkrecht gegen die Spaltungsflächen aufzufinden, wurde eine solche Säule künstlich dadurch hergestellt, dass ein schönes, ziemlich dickes Blättchen des oben schon erwähnten einaxigen Glimmers zu kleinen quadratischen Scheiben von etwa 5^{mm} Seitenlänge geschnitten wurde, und dann diese Scheiben auf einander gelegt und mit Terpentin zusammengekittet wurden. So wurde eine quadratische Säule von 9^{mm} Höhe hergestellt, die, nach aller Analogie, bei der unmessbaren Dicke

des Bindungsmittels in magnetischer Hinsicht sich wie ein homogener Krystall verhielt. Mit der Axe horizontal aufgehängt, stellte sich die Säule mit dieser Axe, der äusseren Form entgegen, mit grosser Entschiedenheit, wie zu erwarten stand, *äquatorial*.

Indem wir die von Senarmont'sche Anschauungsweise zu Grunde legen, können wir die gewonnenen Resultate in folgender Weise zusammenstellen.

In dem ersten der beiden Normalglimmer, wo die Ebene der optischen Axen durch die Säulenaxe und die *kurze* Diagonale der Grundform geht, und die Säulenaxe, die zugleich Axe der grössten optischen Elasticität ist, den Winkel der beiden optischen Axen halbirt, geht die Ebene der beiden magnetischen Axen durch die Säulenaxe und die *lange* Diagonale, und die Säulenaxe, zugleich Axe der kleinsten Induction, halbirt den Winkel der beiden magnetischen Axen. In dem zweiten der beiden Normalglimmer, wo die Ebene der optischen Axen durch die Säulenaxe und die *lange* Diagonale geht, und die den Winkel der optischen Axen halbirende Säulenaxe Axe der grössten Elasticität bleibt, geht die Ebene der magnetischen Axen durch die Säulenaxe und die *kurze* Diagonale; die den Winkel der magnetischen Axen halbirende Säulenaxe ist, wie in dem ersten Falle, Axe der kleinsten Induction. Es stehen also in jedem der beiden Fälle die Ebenen der optischen und magnetischen Axen aufeinander senkrecht, und in beiden Fällen wird der Winkel der beiden magnetischen Axen, wie der beiden optischen, von der Säulenaxe, die auf den Spaltungsflächen senkrecht ist, halbirt. Nach Maassgabe, als in einer intermediären Glimmer-Species Glimmer der ersten Art und Glimmer der zweiten Art gemengt ist, wird der Winkel der magnetischen Axen kleiner, bis bei einem gewissen Mengungsverhältnisse die beiden magnetischen Axen — gleichzeitig oder nahe gleichzeitig mit den beiden optischen Axen — in der Säulenaxe zusammenfallen, um sich bei immer mehr vorherrschendem Glimmer der zweiten Art in derjenigen Ebene, die durch die Säulenaxe geht und auf der früheren Ebene senkrecht steht, wieder von einander zu entfernen und einen immer grösseren Winkel zu bilden.

Es ist mir gestattet, zur Bestätigung der von Senarmont'schen Theorie der schönen, noch nicht veröffentlichten Versuche von Nörremberg's, aus zweiaxigem Glimmer einaxigen darzustellen, hier Erwähnung zu thun. Dieser Gelehrte spaltete bei einem seiner Versuche sibirischen Glimmer, dessen optische Axen einen grösseren Winkel einschliessen, zu Blättchen von einer solchen Feinheit, dass in demselben der eine der beiden polarisirten Strahlen gegen den anderen um $^1/_8$ Wellenlänge verzögert wurde. Er prüfte die Dicke dieser Blättchen

in seinem älteren Polarisationsapparate, indem er dieselben auf den unteren Metallspiegel legte, wobei die Verzögerung bei dem zweifachen Wege des Lichtes durch das Blättchen sich verdoppelte, und kittete dann 24 solcher Blättchen vermittelst Terpentin in der Weise aufeinander, dass das erste, dritte, fünfte . . . Blättchen ihre gegenseitige ursprüngliche Lage behielten, ebenso das zweite, vierte, sechste . . ., aber die Blättchen der zweiten Reihe gegen die Blättchen der ersten in ihrer Ebene um 90° gedreht waren, wonach in je zwei auf einander folgenden Blättchen die Ebenen der optischen Axen auf einander senkrecht standen, und das Verhältniss ein ganz gleiches war, als ob dünne Schichten der beiden Normalglimmer in krystallographisch gleicher Lage (kurze Diagonale mit kurzer, lange mit langer übereinstimmend) mit einander wechselten. Diese zusammengesetzte Glimmerplatte zeigte im Polarisationsapparate das schönste schwarze Kreuz und sämmtliche Ringe vollkommen kreisrund. Die Erscheinung erhielt sich bei einer Drehung der Glimmerplatte in ihrer Ebene unverändert.*)

In einer ähnlich zusammengesetzten Platte hatte Herr v. Nörremberg die Dicke der gleichgerichteten Blättchen unter sich gleich genommen, aber verschieden von der Dicke der entgegengesetzt gerichteten Blättchen, und erhielt auf diese Weise genau dieselben Erscheinungen, wie sie solcher natürlicher Glimmer zeigt, dessen optische Axen einen kleineren Winkel mit einander bilden. Er hatte es durch gehörige Bestimmung der relativen Dicken in seiner Hand, den Winkel der beiden resultirenden optischen Axen beliebig klein zu machen. Die Ebene dieser optischen Axen stimmt mit der Ebene der optischen Axen für die dickeren Blättchen überein.

Wenn Licht senkrecht auf eine Glimmerplatte fällt, so theilt es sich im Innern derselben in Licht von gleicher Intensität, welches nach den beiden Diagonalen schwingt, verhält sich aber, weil Schwingungen nach einer Diagonale stärker absorbirt werden als Schwingungen nach der andern, bei seinem Wiederaustritte aus der Platte nicht mehr wie gewöhnliches Licht. Ein Theil des hinaustretenden Lichtes ist polarisirt, so dass eine solche Platte, wenn eine ihrer Diagonalen in die Polarisationsebene fällt, die andere darauf senkrecht steht, eine Turmalinsäule des Polarisationsapparates in unvollkommener Weise vertreten kann. Hierauf gründet sich eine Methode, die Schwingungs-

*) Das Kreuz erschien nur etwas weniger schwarz, wenn die Polarisationsebene einen Winkel von 45° mit den ursprünglichen Ebenen der optischen Axen bildete. Aber auch diese nur schwach hervortretende Abweichung von dem Verhalten einaxiger Krystalle scheint durch andere Versuche derselben Art ihre Erklärung in der nicht absolut gleichen Dicke der verschiedenen Blättchen zu finden.

richtungen für die stärkste und schwächste Absorption zu bestimmen. Man ersetzt nämlich in einem gewöhnlichen Polarisationsapparat den analysirenden Spiegel durch die zu prüfende Glimmerplatte, die man bei senkrechtem Hindurchsehen so lange in ihrer Ebene dreht, bis ein auf dem Wege des polarisirten Lichtes in die Entfernung des deutlichen Sehens gebrachtes, schnell abgekühltes Glas nach einander das dunkle und helle Kreuz zeigt. In allen Fällen der früher bereits erwähnten Glimmer, bei welchen die optischen Axen einen *grösseren* Winkel einschliessen, erscheint, gleichviel in welchem Hauptschnitte diese Axen liegen, das dunkle Kreuz dann, wenn die Ebene der optischen Axen mit der ursprünglichen Polarisationsebene zusammenfällt. Hiernach werden die Schwingungen senkrecht gegen die Ebene der optischen Axen (nach der mittleren Elasticitätsaxe) in grösserem Maasse absorbirt, als die Schwingungen in der Ebene der optischen Axen (nach der kleinsten Elasticitätsaxe). Ganz anders aber verhält sich die Sache, wenn der Axenwinkel ein *kleiner* ist. Dann werden bald die Schwingungen in der Ebene der optischen Axen, bald die Schwingungen senkrecht darauf stärker absorbirt. Auch der obige einaxige Glimmer (den man nach seinem Verhalten in der Turmalinzange wenigstens dafür halten würde), von dem äusseren Ansehen des grossplattigen sibirischen Glimmers, zeigte in entgegengesetzten Lagen das helle und dunkle Kreuz*).

Glimmer ist senkrecht gegen die Säulenaxe am durchsichtigsten. Der mehrfach besprochene schottische Glimmer war bei einer Dicke von mehr als einem Centimeter sehr durchsichtig und fast farblos. Die geringste Absorption findet also statt, wenn die Schwingungen der Säulenaxe parallel sind, nach welcher die optische Elasticität am grössten, die magnetische Induction am kleinsten ist.

Die vorstehenden Resultate lassen eine Deutung zu, welche der von Senarmont'schen Anschauungsweise über die Constitution der Glimmer günstig ist. Die Absorptionsverhältnisse sind zwar bedingt durch die Krystallform, sodass zum Beispiel ein einaxiger Krystall nach der Richtung der Axe nicht dichroïtisch sein kann; aber andererseits ist es in vielen Fällen erst die färbende Beimischung, welche in den Krystallen den Dichroïsmus hervorruft. Das beweisen direkt die schönen Versuche, bei welchen der genannte Physiker wasserhelle Krystalle durch Färbung dichroïtisch gemacht hat, wobei dann natürlich die Intensität des Dichroïsmus von der Intensität des Färbungsmittels, das der Krystall beim Umkrystallisiren in sich aufnimmt, abhängig ist. Daraus folgt, dass, wenn die beiden Normalglimmer einen verschieden

*) Vergleiche Dove's Farbenlehre, S. 262 und folgende.

starken (mehr zufälligen) Dichroïsmus zeigen, durch Zusammenkrystallisiren einaxiger Glimmer entstehen kann, ohne dass der Dichroïsmus nach der Axe aufgehoben wird, und demnach immer noch solcher Glimmer eine Anomalie unter den einaxigen Krystallen bleibt.

Es ist wohl kaum zweifelhaft, dass auch das magnetische Verhalten des Glimmers, das durch Beimengung paramagnetischer Substanzen, welche die Krystallform der Hauptmasse nicht stören, hervorgebracht wird, hiermit analog ist. Es würde, wenn der specifische Magnetismus der beiden zusammenkrystallisirten Normalglimmer nicht gleich wäre oder vielmehr in einem vollkommen bestimmten Verhältniss zu einander stände, ein optisch einaxiger Glimmer nicht zugleich magnetisch-einaxig sich verhalten.*) Bei sehr kleinem Axenwinkel ist es nicht wohl möglich, magnetisch zweiaxigen Glimmer von magnetisch einaxigem zu unterscheiden. Darum befremdete es einigermaassen in dem Falle des früher untersuchten Glimmers *mit sehr kleinem Axenwinkel*, bei horizontaler Aufhängung noch eine merkliche Richtkraft des Blättchens zu beobachten. Das Befremdende fällt nach der obigen Bemerkung fort. Die magnetischen Axen lagen normaler Weise in der Ebene der kurzen Diagonale, während die optischen Axen in der Ebene der langen Diagonale lagen. Aber in demselben Glimmer war bereits anormaler Weise die Absorption für Schwingungen senkrecht gegen die Ebene der optischen Axen — wenn diese Ebene mit der ursprünglichen Polarisationsebene zusammenfiel, erschien das helle Kreuz — am schwächsten.

Wenn aber dennoch die von Senarmont'sche Anschauungsweise definitiv keine Aufnahme finden, ja sogar wenn die von ihm als Grundform des Glimmers angenommene gerade rhombische Säule aus einem anderen als dem optischen Gesichtspunkte erfolgreich angefochten werden sollte[1]), soviel steht fest, dass derselbe Grund, welcher beim Uebergange von einer Glimmerart zur anderen ein anderes optisches Verhalten bedingt, zugleich auch eine Aenderung des magnetischen Verhaltens hervorruft.**)

*) Es findet dieses auch darin seine Analogie, dass man durch Zusammenkrystallisiren von weinsteinsaurem Natron-Kali und weinsteinsaurem Natron-Ammoniak solche Krystalle, die *für Licht von jeder Brechbarkeit* sich wie einaxige Krystalle verhalten, nicht herstellen kann. Fallen zum Beispiel die optischen Axen für grünes Licht zusammen, so bilden einerseits die Axen für rothes, andererseits die Axen für violettes Licht namhafte Winkel in Ebenen, die auf einander senkrecht stehen.

**) Was die Theorie der magnetischen Axenwirkung betrifft, kann ich einstweilen nur auf meine Abhandlung *On the Magnetic Induction of Crystals*, Philos. Transactions 1858, p. 543—587 [Werke II, Abh. 28] verweisen.

II.

ABHANDLUNGEN

UEBER

ELEKTRISCHE ENTLADUNGEN

DURCH VERDUENNTE GASE

UND

SPECTRALANALYSE.

30.

Ueber die Einwirkung des Magneten auf die elektrischen Entladungen in verdünnten Gasen.

(Annalen der Physik und Chemie, Bd. 103, S. 88—106. 1857. Uebersetzung Phil. Magazine 16, S. 119—132. 1858.)

1) Der Gedanke, statt des elektrischen Eies, dessen die Herren Ruhmkorff und Quet sich ursprünglich bedienten, Röhren mit eingeschmolzenen Platin-Elektroden anzuwenden, um die Entladung der Elektricität durch gasverdünnte Räume zu beobachten, ist in mancher Beziehung ein glücklicher zu nennen. Solche Röhren, welche verschiedenartige Gase und Dämpfe enthalten, werden von Herrn Geissler hierselbst unter den verschiedenartigsten Formen angefertigt und bieten zum Theil einen unvergleichlich schönen Anblick dar. Geissler'sche Röhren — ich gebe ihnen und gewiss mit Recht diesen Namen, obgleich die ersten Röhren nicht von ihm angefertigt worden sind — wurden schon in den ersten Monaten dieses Jahres auf dem physikalischen Kabinete geprüft, und was konnte mir näher liegen, als der Gedanke, solche Röhren, während die Entladung durch dieselben hindurchging, in verschiedener Weise den Polen eines Magneten zu nähern. Schon Davy hat beobachtet, dass der Lichtbogen, welchen er durch gewaltige galvanische Ketten zwischen Kohlenspitzen erzeugte, durch den Magneten abgelenkt wird. Arago hatte die Ablenkung vorausgesagt. Man konnte in gleicher Weise auch die Art der Ablenkung des elektrischen Stromes in den Geissler'schen Röhren im Allgemeinen vorhersagen. Aber zu dem, was zu erwarten stand, traten bei dem Versuche selbst unerwartete Erscheinungen hinzu: die Trennung des Lichtstromes, die Auflösung des Stromes von der negativen Elektrode her in ein flackerndes Licht, das Auslaufen des Stromes von der positiven Elektrode her in eine hellleuchtende feine Spitze. Eine Mittheilung hierüber machte ich der Rheinischen Gesellschaft der Naturforscher und Aerzte (Kölnische Zeitung vom 22. Juli 1857). Den Mitgliedern

dieser Gesellschaft, sowie später in einer Sectionssitzung der 33. Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte, zeigte ich die fraglichen Erscheinungen. Aber bald nachher erst überzeugte ich mich, dass Erscheinungen, die zu den schönsten gehören, und für welche ich bisher noch keine Analogie gefunden habe, unbeachtet geblieben waren. Dieser Umstand bestimmt mich, gleich jetzt schon meine früheren Mittheilungen zu vervollständigen; ich werde dabei so wenig wie möglich in später zu veröffentlichende Untersuchungen eingreifen.

2) Die ersten beiden Röhren, welche Herr Geissler auf Bestellung anfertigte, enthielten Quecksilber und möglichst verdünnte atmosphärische Luft. Auf meinen Vorschlag wurde nach früheren Vorgängen statt der Luft der Dampf ätherischen Oels, Wasserstoffgas und Phosphor genommen, und die Röhren mit einer Erweiterung versehen. Auch wurde das Quecksilber aus den Röhren selbst entfernt, die Evacuation derselben aber immer noch durch Quecksilber bewerkstelligt. Die die beiden letztgenannten Substanzen, Wasserstoff und Phosphor, enthaltenden Röhren geben immer noch am sichersten einen schönen Effect. Aber Herr Geissler hat seitdem manche andere, einfache und zusammengesetzte Gase versucht und zugleich die Form der Röhren mannigfach abgeändert. In den meisten Fällen ist es bis jetzt schwer, mit Bestimmtheit anzugeben, was für Gase die Geissler'schen Röhren enthalten. Schon bei der Prüfung der ersten dieser Röhren, welche Dampf eines ätherischen Oels enthielt, zeigte sich eine sofortige Aenderung der Erscheinung, von der Zersetzung des Dampfes herrührend. Diese Elektrolyse verdünnter zusammengesetzter Gase fand in späteren Fällen ihre volle Bestätigung. In Röhren, die Jodwasserstoff enthalten, schlägt sich Jod allmählig nieder. In stark verdünnten Gasen macht sich diese Elektrolyse durch die fein sich zertheilende elektrische Strömung dem Auge oft ganz plötzlich und durch eine auffallende Farbenänderung sichtbar. Beispiele davon boten Röhren, die Phosphorwasserstoff und schweflige Säure enthielten. Wir können andrerseits aber auch die Gesetze der Elektrolyse durch den Funken des Ruhmkorff'schen Apparates in Gasen und Dämpfen von gewöhnlicher Dichtigkeit verfolgen.

3) Das Metall der Elektroden, namentlich der negativen, wird zu dem Glase der Röhre übergeführt. Es ist dies sogar bei Platin-Elektroden der Fall, und die Schwärzung der Röhre in der Nähe des Wärmepols ist vorzugsweise dem Platin, das sich zugleich mit Spuren anderer in der Röhre vorhandener Stoffe verbindet, zuzuschreiben.

4) In den verschiedenen Geissler'schen Röhren tritt das Licht in allen verschiedenen, oft sehr intensiven Farben auf; es giebt, durch

das Prisma analysirt, mannigfaltig modificirte Spectra. Die Bezeichnung der zarteren Farbennüancen namentlich ist um so schwieriger, als der Eindruck, den sie auf unser Auge hervorbringen, zugleich von der äusseren Beleuchtung abhängig ist, und dieselbe Farbe zum Beispiel, je nachdem wir bei gemildertem Tageslichte oder bei der Beleuchtung durch eine Kerze beobachten, hell violett oder rosenroth erscheint.

5) Die von Ruhmkorff und Quet im elektrischen Ei zuerst beobachteten dunklen Schichten treten in den Geissler'schen Röhren unter den mannigfaltigsten Formen, in einzelnen derselben mit der grössten Schärfe hervor. Ich möchte sagen, dass man von dem Charakter dieser Schichtung des Lichtes dann eine ganz neue Anschauung bekommt, wenn man sieht, wie in einer dieser Röhren, die etwa 2^{mm} weit und 400^{mm} lang ist und Spuren von Wasserstoffgas enthält, ungefähr 400 Mal lichte Stellen mit dunklen Intervallen ganz regelmässig von einem Ende der Röhre bis zum andern abwechseln, wobei nur am Wärmepol (der negativen Elektrode) der bekannte dunkle Raum sich zeigt. In weiteren Röhren sind die dunklen Intervalle bis 5^{mm} breit; sie werden schmäler, wenn das elektrische Licht von einer weiteren Röhre in eine engere tritt. Sie treten häufig erst auf, nachdem die Entladung eine längere Zeit durch die Röhre hindurchgegangen ist, und dann nur allmählig sich scharf begrenzend. In den meisten Fällen machen die leuchtenden Stellen kleine Oscillationen und geben dann oft den Eindruck einer spiralförmigen Bewegung. Oft sind sie, namentlich nach dem Wärmepol zu, vollkommen stationär und zeigen sich dann als feste unbewegliche Scheiben. Diese Scheiben nehmen in vielen Fällen, namentlich in weiten Röhren, eine stark conoidische Form an, deren Convexität immer dem Wärmepol zugekehrt ist, also der Richtung der elektrischen Entladung entspricht. Bei einer Commutation richten sich die conoidischen Spitzen, hiermit in Uebereinstimmung, in entgegengesetztem Sinne.

6) Der Versuch, die Schichtung des Lichtes bei der elektrischen Entladung vollständig zu erklären, möchte einstweilen noch verfrüht erscheinen und vielleicht die Erklärung des physikalischen Vorganges der elektrischen Entladung in sich einschliessen. Aber so viel können wir jetzt schon behaupten, dass die Entladung durch die Geissler'schen Röhren unmöglich darin bestehen kann, dass eine Lichterscheinung, eine leuchtende Materie, von einem Ende der Röhre zum andern sich fortbewegt, und nichts wird hierbei für die Erklärung dadurch gewonnen, dass die Lichtergiessungen nach Intervallen auf einander folgen, die bei Anwendung des Ruhmkorff'schen Apparates von der

Schnelligkeit der Aufeinanderfolge der Stromunterbrechungen abhängen. Es kann die Erscheinung nur in einer Ansammlung von Materie an bestimmten Stellen der Röhre bestehen, die in Folge der Entladung leuchtend wird, während der Uebergang der Elektricität von einer leuchtenden Stelle zur andern ein dunkler ist. Die Ansammlung der leuchtend werdenden Materie an den bestimmten Stellen ist ihrerseits Folge der Entladung selbst und fordert oft eine grössere Reihe von auf einander folgenden Entladungen.[1])

7) In der Nähe des Wärmepols, zu welchem die Entladung hingeht, häuft sich keine durch dieselbe leuchtend werdende Materie an; es entsteht daselbst ein konstanter dunkler Raum, der in weiteren Röhren oft eine Länge von 80^{mm} erreicht. Dieser dunkle Raum scheidet das bisher betrachtete Licht scharf ab von dem an der negativen Elektrode (dem Wärmepole) auftretenden Lichte, das um dieselbe eine Art von Atmosphäre bildet. Dieses merkwürdige Licht wird am Ende dieser Abhandlung uns ganz speciell beschäftigen.

8) In unmittelbarer Nähe endlich ist die negative Elektrode von einer Hülle verschiedenfarbigen, fein geschichteten Lichtes umgeben, welche der Form der Elektrode entspricht. Die feinen Schichten sind Kugeln, wenn die positive Elektrode selbst die Form einer Kugel hat, sie haben die cylindrische Form in dem Falle, dass die Elektrode als Draht in die Röhre hineinragt.

9) Nach diesen einleitenden Betrachtungen wende ich mich sogleich zu unserem eigentlichen Gegenstande, der Einwirkung des Magneten auf die elektrische Entladung in gasverdünnten Räumen. Für die zunächst zu beschreibenden Versuche bediente ich mich des grossen aufrechtstehenden Hufeisenmagneten und brachte auf die beiden Schenkel desselben die beiden schweren, 4^{cm} hohen, 13^{cm} breiten, 20^{cm} langen, an einem Ende kreisförmig abgerundeten Halbanker, mit ihren abgerundeten Enden einander zugekehrt und durch eine dazwischen gelegte Messingscheibe in einer festen Entfernung, meistens von 4^{mm}, gehalten. Auf diese Halbanker wurden die Geissler'schen Röhren gelegt, einmal in der äquatorialen, das andere Mal in der zweiten Normallage, der axialen.

10) Wenn wir einen frei beweglichen Kupferdraht, durch welchen ein galvanischer Strom geht, an die Stelle der Röhre in die äquatoriale Lage bringen, so wird dieser Draht entweder vertical herabgezogen, oder nach oben abgestossen, je nachdem die Richtungen der Ampère'schen Ströme, die in den beiden genäherten Halbankern dieselben sind und als in Verticalebenen, die auf der axialen Richtung senkrecht sind, liegend gedacht werden können, in ihren unteren Theilen mit der Rich-

tung des galvanischen Stromes übereinstimmen oder nicht. (Wenn wir die Richtung der Ampère'schen Ströme durch den Weg, den der Zeiger einer Uhr nimmt, darstellen, so müssen wir bekanntlich die Uhr selbst als einen Magneten betrachten, dessen Südpolfläche das Zifferblatt ist.) Die Anziehung oder Abstossung des Leitungsdrahtes kann auch als eine Kraft betrachtet werden, die aus zwei Kräftepaaren, die den Leitungsdraht in entgegengesetztem Sinne zu drehen streben, hervorgeht.

Denken wir uns andererseits statt der axial aufgelegten Röhren den Leitungsdraht in derselben Lage, gleich weit nach beiden Seiten über die Stelle der grössten Wirkung hinüberragend, so erfahren die beiden Hälften des Leitungsdrahtes entgegengesetzte Einwirkungen von Seiten des Magneten. Wenn wir die beiden äussersten Enden desselben uns fest denken, so würden sie in der horizontalen Ebene um diese festen Enden in entgegengesetztem Sinne sich zu drehen streben, als wenn sie den Draht in seiner Mitte zerreissen wollten. Jede Hälfte für sich würde, wenn sie frei wäre, um die axiale Linie sich drehen, und zwar würden die beiden Drehungen in entgegengesetztem Sinne statt haben. (Taf. III, Fig. 1.)

11) Ich legte eine etwa 270^{mm} lange Röhre, die in der Mitte in ellipsoïdischer Form sich erweiterte (Weite der Röhre etwa 12^{mm}, grösste Weite in ihrer Mitte 52^{mm}) äquatorial auf die genäherten Halbanker. Diese Röhre enthielt eine Spur von Phosphor und gab, wenn die Entladung vermittelst der beiden an ihren Enden eingeschmolzenen Platindrähte hindurchgeführt wurde, ein schönes rothes Licht. In der eigentlichen Röhre zeigte sich die scharf begrenzte Schichtung des Lichtes; beim Eintritt in das Ellipsoïd breiteten sich die Schichten kugelförmig aus, indem sie krummer wurden und, in der Mitte des Ellipsoïds durch eine ebene Fläche hindurchgehend, den Sinn ihrer Krümmung änderten.

Bei der zwiefachen Stromrichtung und der zwiefachen Erregung des Elektromagneten ergeben sich vier verschiedene Fälle, auf deren Bestimmung wir nicht näher einzugehen brauchen, weil sie dieselbe ist, wie für den Fall des Leitungsdrahtes, durch welchen ein galvanischer Strom geht. In zwei Fällen wurden die elektrischen Lichtströmungen in dem Ellipsoïde angezogen, in den beiden andern abgestossen. In dem Falle (Fig. 2, Taf. III) der Anziehung senkte sich der Lichtstrom von der Seite der positiven Elektrode (des Lichtpoles) her in das Ellipsoïd herab und lief, immer glänzender werdend, unmittelbar oberhalb der genäherten Halbanker in eine scharf begrenzte Spitze ruhig aus, während von der anderen Seite her schön rothe, fortwährend

aufwogende Flammen sich in das Ellipsoïd herabsenkten und über die Mitte zwischen den beiden Halbankern hinausschlugen, ohne dass dabei irgend eine Tendenz, sich mit dem ruhigen Lichtstrome von der entgegengesetzten Seite zu vereinigen, dem Auge bemerkbar wurde. Beim Commutiren der magnetischen Polarität änderte sich langsam die Erscheinung (Fig. 3, Taf. III). Das Licht concentrirte sich beim Eintritt in das Ellipsoïd zu einem glänzenden Bogen, der an dem oberen Theile desselben in der Aequatorialebene sich hinzog. Die Schichtung des Lichtes verengte sich schon beim Eintritt in das Ellipsoïd; in dem oberen Theile des Bogens, wo die Lichtconcentration am grössten war, wurden die dunkeln Intervalle immer zahlreicher und schärfer. Eine gleichzeitige Commutation, sowohl der Stromrichtung als der magnetischen Polarität, kehrte, was sich von selbst versteht, die ursprüngliche Erscheinung bloss um, indem nur von der entgegengesetzten Seite her der niedersteigende Lichtstrom in eine Spitze auslief. In der zweiten Erscheinung brachte eine doppelte Commutation keinen merklichen Unterschied hervor; der abgestossene Lichtbogen änderte sich, offenbar seiner grösseren Entfernung von den Polen wegen, nicht merklich, von welcher Seite man auch den positiven elektrischen Strom in das Ellipsoïd eintreten liess.

12) Wenn die Röhre parallel mit sich selbst so verschoben wurde, dass das Ellipsoïd von der Stelle der grössten Wirkung oberhalb der genäherten Halbanker nach der einen oder andern Seite in axialer Richtung fortrückte, so blieb die Ebene, in welcher die Anziehung oder Abstossung des elektrischen Lichtstroms erfolgte, nicht mehr vertical, sondern neigte sich immer mehr, indem ihre Lage fortwährend durch die Axe der Röhre und die Stelle der grössten Wirkung bestimmt wurde.

13) Eine ganz gleich geformte Röhre, die, statt der Spur von Phosphor, eine kleine Menge von Wasserstoffgas enthielt, zeigte genau dieselben Erscheinungen, nur mit dem Unterschiede, dass ein hell violettes Licht an die Stelle des rothen trat.

14) Wenn dieselben beiden Röhren so auf die Anker gelegt wurden, dass der elektrische Strom nach der *axialen* Richtung durch dieselben hindurchging, so fand eine horizontale Ablenkung der von beiden Seiten in das Ellipsoïd eintretenden Lichtströme und zwar in entgegengesetztem Sinne statt. Der vom Lichtpole ausgehende Strom lief auch hier in eine hellleuchtende Spitze aus, die an einem der beiden Endpunkte des äquatorialen horizontalen Durchmessers des Ellipsoïds ihre Stelle hatte. Der von dem Wärmepole aus in das Ellipsoïd eintretende Strom wurde nach der entgegengesetzten Seite desselben hingedrängt und concen-

trirt, von wo fortwährend wogende Flammen nach der Seite der Lichtspitze hin aufschlugen. Diese Erscheinung war besonders schön, als statt der beschriebenen Röhren einfache cylindrische Röhren von grösserer Weite (270^{mm} lang und 18^{mm} weit) genommen wurden. Die wogende Flammenbewegung erstreckte sich da auf eine Strecke von mehr als 10 Centimeter.

Sowohl bei einer Commutation der Stromrichtung, als auch der magnetischen Polarität kehrte sich, im ersteren Falle rascher als im zweiten, die Erscheinung einfach um, indem die Stellen der Lichtspitze und des wogenden Lichtes sich vertauschten.

15) In den zuletzt beschriebenen Erscheinungen bestimmt sich der Sinn der horizontalen Ablenkung des Lichtstromes, wie in dem Falle des beweglichen Leitungsdrahtes (10). Aus der Betrachtung desselben Falles liesse sich auch auf das Zerreissen des Lichtstromes oberhalb der Stelle der grössten magnetischen Wirkung schliessen. In der früheren Erscheinung aber, *wo der Lichtstrom seiner ganzen Länge nach bloss angezogen wird, war ein solches Zerreissen des Stromes durch den Magneten in keiner Weise vorher angedeutet.*

16) Ich füge aphoristisch nur noch ein paar Einzelheiten, die bei der Einwirkung des Magneten auf die elektrische Lichtentladung in Geissler'schen Röhren beobachtet wurden, hinzu.

Wenn in solchen Röhren und namentlich in einer Erweiterung derselben das Licht ein zerstreutes ist und keine Spur von Schichtung zeigt, so treten die dunkeln Intervalle sehr häufig durch den Magneten hervor, indem derselbe durch Anziehung oder Abstossung das zerstreute Licht concentrirt. Ich glaube, dass es einer solchen Concentrirung des Lichtstromes ebenfalls zuzuschreiben war, wenn das schöne blaue Licht einer schweflige Säure enthaltenden Röhre, welches sich während einer längeren Entladung des Ruhmkorff'schen Apparates durch dieselbe ganz constant erhalten hatte, als die Röhre auf den Magneten gelegt wurde, in ganz kurzer Zeit in ein verwaschenes Grün überging, wie es dem Sauerstoffgase entspricht. Eine direkte Einwirkung des Magneten bei der stattgefundenen Zersetzung scheint mir bis jetzt unwahrscheinlich.

17) Eine 200^{mm} lange, 10^{mm} weite, Brom enthaltende, an ihren beiden Enden in Kugeln auslaufende Röhre zeigte röthliche und violette Blitze, die, ein Bündel bildend, in der Axe der Röhre fortwährend von einem Ende zum andern hinschlugen, rings umher von diffusem grünem Lichte umgeben. Als man die Röhre äquatorial auf den Magneten legte, wurden die Blitze bei bestimmter Stromrichtung herabgezogen, so dass sie über den untern Theil der Röhre hinschlugen,

ohne zu zerreissen. Dabei wurden sie, ihre Farbe ändernd, hell bläulich grün, während ein rother Nebel in dem oberen Theile der Röhre sich zeigte.

18) In einem anderen Falle wurde eine kurze Röhre, die in eine weitere Kugel auslief, äquatorial auf die genäherten Halbanker gelegt. Vor der magnetischen Erregung breitete sich das Licht beim Eintritt in die Kugel, die seitwärts an den beiden Halbankern anlag, nach allen Seiten hin aus; nach der Erregung wurde die Kugel durch grüne röthliche Blitze durchfahren.

19) Ich wende mich nun zu der neuen Klasse von Erscheinungen, die ich beobachtete, als ich, in der Absicht das Licht, welches am Wärmepol auftritt und durch den dunklen Raum von dem eigentlichen Lichtstrome getrennt ist, unter der Einwirkung des Magneten zu untersuchen, passende Röhren mit ihren Wärme-Elektroden in die Nähe der Pole brachte. Um die hierher gehörigen Erscheinungen vollkommen zu sehen, ist es erforderlich, dass diejenige Elektrode, wo der Wärmepol auftreten soll, tief genug in die Röhre hineinrage, und die Röhre an diesem Ende weit genug sei.

20) Ich wählte hier zuerst eine Röhre (Fig. 4, Taf. III), 10^{mm} weit, an deren beiden Enden Glaskugeln von 35^{mm} Durchmesser angeschmolzen waren. Die ganze Länge derselben betrug 250^{mm}. Die Platin-Elektroden ragten in die beiden Kugeln bis zu den Mittelpunkten derselben hinein. Ich legte auf den Elektromagneten zwei Halbanker auf, deren Querschnitt ein Quadrat von 70^{mm} Seitenlänge war. Die Kanten der einander zugekehrten Endflächen der beiden Halbanker waren abgerundet, und in den Mitten dieser Endflächen stumpf konoïdische Polspitzen eingeschraubt. Die eine Endkugel der Röhre, in welcher der Wärmepol auftrat, wurde hiernach an die konoïdischen Polspitzen so angelegt, dass die Röhre, zwischen diesen Spitzen hindurchgehend, horizontal und äquatorial gerichtet war. Vor der magnetischen Erregung war diffuses violettes Licht durch die Kugel verbreitet, von blassem grünem Lichte umgeben, das eine dünne Schicht unmittelbar am Glase derselben zu bilden schien. Nach erregtem Magnetismus sammelte sich das diffuse violette Licht zu einer horizontalen, halbmondförmigen, gleichmässig hell beleuchteten Scheibe, nach der Röhre hin durch einen gegen diese concaven, nahe kreisförmigen Bogen scharf begrenzt, der in seiner Mitte durch die Spitze der Platin-Elektrode ging. Diese Scheibe war auf der andern Seite durch einen schmalen Streifen schön hellgrünen Lichtes, der sich am Glase hinzog, eingefasst. Ausserdem senkte sich — dem bereits Beschriebenen entsprechend — das Licht, welches fern von den Polen roth war und die schwarzen

Intervalle schön zeigte, den Polen näher aber hell violett sich färbte, indem es in einer Spitze auslief, aus der Röhre in die Kugel herab. Nachdem die magnetische Polarität commutirt worden war, blieb die Erscheinung ganz unverändert; es ging nur, was hier nicht mehr zur Sprache kommt, die Spitze, in welcher der Lichtstrom auslief, in der Kugel nach oben, statt nach unten.

21) Wurde hiernach (Fig. 5, Taf. III) die Röhre so umgelegt, dass sie immer noch die horizontale äquatoriale Lage behielt, aber nicht mehr zwischen den Polspitzen, welche die Kugel fortwährend berührten, hindurchging, so blieb die Erscheinung dieselbe, mit dem einzigen Unterschiede, dass die in der Kugel durch einen grünen Streifen vom Glase getrennte horizontale violette Scheibe nach der Röhre hin durch einen gegen diese convexen Bogen, dessen Mitte fortwährend mit der Spitze der Platin-Elektrode zusammenfiel, begrenzt wurde.

22) Die beiden Halbanker wurden hierauf so weit von einander entfernt, dass die Kugel eben dazwischen gebracht werden konnte. (Fig. 6, Taf. III.) Bei gleicher Richtung der Röhre ging diejenige Linie, welche die Polspitzen verband, durch den Mittelpunkt der Kugel, in welchem zugleich die Elektrode auslief. Nach Erregung des Magnetismus wurde die Scheibe, welche sich wie in den beiden früheren Fällen bildete, von dem axialen Durchmesser begrenzt; sie war, so weit die Glaswandung reichte, wie früher, von einem schön grünen Streifen eingefasst. Auf der Scheibe trat hier, was in den früheren Fällen nicht beobachtet wurde, in der Nähe des axialen Durchmessers eine stärkere Lichtansammlung hervor.

In den beiden letzten Fällen trat, wie in dem ersten, bei einer Commutation der magnetischen Polarität nach einiger Zeit genau dieselbe Erscheinung, so weit sie die Scheibe betrifft, wieder hervor.

23) Während nach Erregung des Magnetismus das in der Kugel des Wärmepols verbreitete Licht sich zu einer Scheibe langsam zusammenzieht, rotirt es um die axiale Linie. Die Richtung dieser Rotation ist die jedesmalige Richtung der Ampère'schen Ströme in den erregten Magnetpolen. Beim Wiederaufheben des Magnetismus rotirt das Licht in entgegengesetzter Richtung zurück. Diese rotirende Bewegung wird stärker beim Commutiren der Pole. Die Richtung der Ampère'schen Ströme in der neu auftretenden magnetischen Erregung bestimmt hier die Richtung der Rotation; beim zweiten Commutiren ist diese Richtung die umgekehrte. In der Fig. 6, Taf. III deutet der Pfeil diese Richtung an, wobei der in den Halbankern auftretende Nord- und Südmagnetismus durch N und S bezeichnet ist.[2])

24) Endlich wurde noch (Fig. 7, Taf. III), während Röhre und

Kugel in der zuletzt beschriebenen Lage verblieben, der Halbanker von einem der beiden Schenkel des Elektromagneten fortgenommen. Dann blieb die horizontale Lichtscheibe nach wie vor von dem axialen Durchmesser der Kugel begrenzt, nur war das violette Licht in der Nähe der verbliebenen Polspitze intensiver, und der die Scheibe einfassende hellgrüne Streifen wurde nach dem entfernteren Ende des Durchmessers hin etwas breiter und dem entsprechend etwas lichtschwächer.

25) Es ist selbstredend, dass, wenn in allen bisher beschriebenen Fällen die Röhre um die axiale Linie gedreht wird, zugleich mit der Röhre auch die Ebene der sich gleich bleibenden Scheibe um dieselbe axiale Linie sich dreht.

26) Als, während die Röhre ihre horizontal-äquatoriale Lage behielt, die Kugel derselben von oben her mit den beiden Polspitzen in Berührung gebracht wurde, nahm die bisherige Scheibe die Form einer gewölbeähnlichen Fläche an, die sich von dem Platindrahte aus zu den beiden Seiten desselben herabsenkte. Bei einer grösseren Annäherung der Polspitzen nimmt die Krümmung der Fläche zu.

27) Wenn wir die Gesammtheit der in den Nummern 20) bis 26) beschriebenen Erscheinungen überblicken, so drängt sich uns die Anschauung auf, dass die verschiedenen ebenen oder krummen Flächen, in welche das um den Wärmepol verbreitete diffuse Licht sich zusammenzieht, *von Lichtlinien gebildet werden, welche von den einzelnen Punkten der negativen*) Elektrode ausgehen und mit magnetischen Curven zusammenfallen.*

28) Diese Anschauung wird auch dadurch bestätigt, dass die bogenförmige concave oder convexe Begrenzung der Lichtscheibe in den beiden zuerst beschriebenen Fällen dann stärker gekrümmt ist, wenn wir statt der Halbanker mit konoïdischen Polspitzen parallelepipedische Halbanker (190^{mm} lang, 68^{mm} breit, 20^{mm} hoch) mit ihren breiten Flächen auf den Elektromagneten auflegen und dann die Röhre einmal so zwischen die möglichst genäherten Polflächen bringen, dass die Kugel mit der Wärme-Elektrode von Aussen anliegt, das andere Mal jene Flächen an die Röhre mit der Kugel von Aussen her anstossen.

29) Dieselbe Anschauung wird, soweit wir den complicirten Lauf der magnetischen Kraftlinien beurtheilen können, ebenfalls bestätigt, wenn wir uns wie bei der ersten Versuchsreihe der schweren Halbanker bedienen.

Wenn wir hierbei, während die Röhre immer äquatorial gerichtet bleibt, die den Wärmepol umschliessende Kugel derselben oberhalb der

*) [Im Original steht *positiven*, was jedenfalls nur ein Versehen ist.]

Stelle der grössten magnetischen Wirkung bringen, so tritt die gewölbeförmige Lichtfläche besonders scharf begrenzt hervor. Verschieben wir dann die Röhre parallel mit sich selbst nach der einen oder der andern Seite in axialer Richtung, so ändert die Fläche ihre Gestalt in einer Weise, die wir aus dem Laufe der jedesmaligen magnetischen Curven vorher bestimmen können.

30) Jetzt bleiben uns noch diejenigen Erscheinungen zu beschreiben übrig (Fig. 8, Taf. III), welche dann eintreten, wenn die Röhren, durch welche die Entladung geht, eine *axiale* Lage haben. Wir wollen uns zuvörderst nochmals der Röhre mit den beiden Kugeln an ihren Enden bedienen und nur auf einen Schenkel des Elektromagneten einen Halbanker mit konoïdischen Polspitzen legen. Stossen wir dann an diese Polspitze die Röhre in axialer Lage so an, dass die Wärme-Elektrode diese berührt, so strömt das violette Licht, die Form eines Cylinders annehmend, in die Röhre. Das grüne Licht sammelt sich, besonders hell leuchtend, am Eingange in die Röhre an, während es von da aus über die innere Oberfläche der Kugel sich erstreckt und nach der Mitte der Kugel hin scharf begrenzt ist durch einen Kreis, dessen Ebene auf der axialen Richtung senkrecht steht und von dem Eingange in die Röhre etwa um $^1/_4$ des Kugeldurchmessers entfernt ist.

Bei einer Commutation hat es den Anschein, als ob das violette sowohl als das grüne Licht zuerst nach der Platin-Elektrode zurückflösse und dann wieder vorwärts sich bewegte, um zuletzt genau die frühere Lage wieder einzunehmen. Bei dieser Bewegung hält sich das grüne Licht immer in der Nähe des Glases.

31) Die folgende Versuchsreihe wurde mit einer Röhre angestellt, die sich nach dem einen Ende hin konisch verjüngte. Ihr grösster Durchmesser an dem weiteren Ende betrug 40^{mm}, an diesem Ende ragte der Platindraht, der zur Wärme-Elektrode bestimmt war, 23^{mm} ins Innere hinein. Wenn die Entladung durch die Röhre nach dem Platindrahte hindurchging, so verbreitete sich um diesen das diffuse Licht, scharf durch den dunkeln Raum abgegrenzt, der sich bis auf nahe 60^{mm} ins Innere der Röhre hinein ausbreitete (Fig. 9, Taf. III). Jenseits des dunkeln Raumes traten durch die ganze Röhre hindurch die dunklen Streifen auf, im Anfange 3^{mm} von einander abstehend, nach dem Ende der Röhre hin sich einander immer mehr nähernd. Sie nahmen namentlich in der Nähe des Wärmepols die Form von Kugelschalen an, welche gegen diesen convex waren. (Bei der Commutation des Stromes (Fig. 10, Taf. III) änderte sich der Sinn der Krümmung des geschichteten Lichtes, und die Schichten zogen sich nun bis um den Platindraht selbst, der zum Lichtpole geworden war, in der

Nähe desselben sich nicht mehr bis zur Wandung der Röhre ausbreitend.)

32) Auf die beiden Schenkel des Elektromagneten wurden wiederum (Fig. 11, Taf. III) die beiden schweren Halbanker mit einander zugewendeten abgerundeten Enden aufgelegt, und auf diese in axialer Lage die Röhre zunächst so, dass die Spitze des Platindrahtes, der fortan immer Wärmepol blieb, nahe oberhalb der Stelle der grössten magnetischen Wirkung zu liegen kam. Das den Platindraht umgebende diffuse Licht zog sich in Folge der magnetischen Wirkung zu einem violetten scheibenförmigen Lichtbogen zusammen, der in axialer Richtung auf den beiden Halbankern aufstand, annäherungsweise durch zwei concentrische Kreisbogen, deren Mittelpunkte mit der Mitte zwischen den oberen Flächen der beiden Halbanker zusammenfielen, begrenzt. In dem inneren Bogen, welcher den Platindraht in dessen Spitze berührte und beinahe ein Halbkreis war, concentrirte sich das Licht zu einem hellen schmalen Streifen, während der übrige, 8 bis 9^{mm} breite Raum zwischen den beiden concentrischen Bogen grösstentheils fast gleichmässig, aber viel schwächer beleuchtet war. Nur nach dem Ende der Röhre hin, unterhalb des Platindrahtes, nahm das Licht an Helligkeit zu. Der Draht selbst blieb, was überall der Fall ist, fortwährend von der fein geschichteten cylindrischen Lichthülle unverändert umgeben. Aber auch die schwächere Beleuchtung war durch den oberen Bogen, der auf dem Platindrahte, da, wo derselbe eingeschmolzen ist, auslief, vollkommen scharf begrenzt. Ein schmales dunkles Intervall trennte das Licht um den Wärmepol von dem übrigen Licht der Röhre, das seine Schichtung behalten hatte, wobei bloss in der Nähe des dunklen Intervalls die Form der Schichten der Begrenzung sich in etwas angepasst hatte. Ausserdem füllte das geschichtete Licht nicht mehr den ganzen innern Raum der Röhre aus; es hatte sich in dem Sinne der früher (14) beschriebenen horizontalen Ablenkung durch den darunter befindlichen Halbanker nach der einen oder der anderen Seite in horizontaler Richtung zusammengedrängt. Bei einer Commutation der magnetischen Polarität verschwand langsam die Erscheinung und trat langsam ganz in gleicher Weise wieder auf, nur dass, was hier weiter nicht zur Sprache kommt, das geschichtete Licht auf die entgegengesetzte Seite der Röhre in horizontaler Lage hingedrängt wurde, und der Seitenanblick der Röhre ganz derselbe war, wenn wir die Seite wechselten.

33) Wenn die Röhre (Fig. 12, Taf. III), während sie die axiale Lage beibehielt, ihrer Länge nach so verschoben wurde, dass die Stelle, wo sie auf den genäherten Halbankern auflag, dem Lichtpole sich

näherte, so wurde die Erscheinung eine ganz andere. Die frühern beiden kreisförmigen Bogen, welche den Ring, auf den sich die Lichtatmosphäre um den Wärmepol zusammengezogen hatte, begrenzen, *haben den Lauf von magnetischen Curven.*

Der innere derselben, welcher fortwährend durch die Platinspitze ging und fortwährend magnetische Curve blieb, dehnte sich bei der allmähligen Verschiebung der Röhre immer mehr nach dem engeren Ende der Röhre hin aus, bis er zuletzt, indem er den oberen Theil der Röhre erreichte, das Licht um den Wärmepol ganz abgrenzte. Bei diesem Uebergange findet ein merkwürdiges Durcheinander von Farben statt, und neue Farben treten auf, wenn der Ring sich öffnet, und das Licht desselben dem übrigen Lichte nahe kommt. Jenes war hier violett, dieses röthlich; es bildete sich ein schön blaues Licht.

34) Wenn endlich (Fig. 13, Taf. III) die konische Röhre von ihrer ursprünglichen Lage aus ihrer Länge nach so verschoben wird, dass sie ganz oberhalb eines der beiden Halbanker zu liegen kommt, so bleibt der Lichtring vollkommen scharf begrenzt. Der frühere innere Bogen ist hier der äussere geworden; er geht fortwährend durch die Spitze des Platindrahtes und schneidet das violette Licht nach der engeren Seite der Röhre hin ab. Der andere Bogen, welcher früher der äussere war, geht auch jetzt noch durch denjenigen Punkt der Platin-Elektrode, wo dieselbe aus dem Glase in die Röhre hineintritt; er ist nun der hellleuchtende geworden, und in der Nähe desselben ist auch das sonst gleichmässige Licht des Ringes heller. *Beide begrenzende Bogen haben auch hier den Lauf magnetischer Curven.*

35) Auch die zuletzt angewendete Röhre zeigte das so räthselhaft auftretende *schön grüne Licht.* Anfänglich hatte ich dasselbe für eine subjective Contrastfarbe gehalten, später, als diese allgemein angenommene Ansicht sich als unhaltbar darstellte, drängte sich die Anschauung auf, es sei eine im Glase selbst auftretende Farbe. Es ist aber Licht im Innern der Röhre, das sich immer an die innere Wandung derselben so enge anlegt, dass es genau die Ungleichheiten derselben wiedergiebt und daher den Eindruck macht, als ob es dem Glase selbst eigenthümlich zukäme.[3]) Erst der Magnet gab diese Aufklärung. Bei der Commutation der Pole desselben wurde es in der Nähe des Wärmepols hin und her bewegt und sammelte sich dann da wieder an, wo die durch magnetische Curven gebildete Fläche das Glas berührte. Wenn in Folge einer Verschiebung der Röhre diese Fläche mit dem Glase an einer Stelle in Berührung kommt, wo dieses früher nicht der Fall gewesen war, so tritt auch sogleich das grüne Licht daselbst auf.

Die Bedingungen, unter welchen dieses Licht in den Geissler'-

schen Röhren überhaupt auftritt, können nur zugleich mit der Frage, in welcher Weise die Erscheinungen, die diese Röhren darbieten, von der chemischen Natur der Spuren materieller Substanzen in denselben abhängen, ihre Erörterung finden.

36) Hier ist nur mit Bestimmtheit hervorzuheben, dass die Concentration der Lichtatmosphäre um den Wärmepol zu einer von magnetischen Curven gebildeten Lichtfläche eine *allgemeine* physikalische Thatsache ist, die in allen Fällen die gleiche bleibt, abgesehen davon, dass die verschiedene Natur der Gase im Innern der Röhren die Farbenerscheinung mannigfach ändert. Röhren, die Kohlensäure enthalten, geben, um ein einzelnes Beispiel noch anzuführen, schön geschichtetes grünes Licht; die Lichtatmosphäre um den Wärmepol ist schön blau, die Lichthülle um denselben wiederum grün. Die Lichtflächen, in welche das blaue Licht unter der Einwirkung des Magneten sich zusammenzieht, unterscheiden sich der Form nach von den in dem Vorigen beschriebenen in keiner Weise.

37) Die Farbe der Lichtatmosphäre um den Wärmepol und der Flächen, in welche dieselbe durch den Magneten sich zusammenzieht, ist von der Natur der Elektroden ganz unabhängig. Es wurden nämlich drei ganz gleiche Röhren hergestellt, an ihren Enden mit gleichen angeschmolzenen Kugeln, in welche die Platindrähte bis zur Mitte hineinragten. Die Platindrähte an einem Ende jeder der drei Röhren waren an der Stelle, wo sie in die Kugel eingeschmolzen wurden, vorher mit geschmolzenem Glase umgeben und dann auf galvanischem Wege bezüglich stark *vergoldet, versilbert, verkupfert* worden. Die Erscheinung unter der Einwirkung des Magneten war ganz dieselbe, wenn nach einander jedes Ende der drei Röhren zur positiven Elektrode wurde.

38) Endlich wurde noch an einem Platindraht eine kleine Kugel angeschmolzen*) und dann, nachdem der ganze übrige Theil desselben durch umschmolzenes Glas isolirt worden war, mit der Kugel als Wärme-Elektrode in eine weitere Röhre eingeschmolzen. Von dieser

*) Da es für verschiedene Zwecke erwünscht sein kann, Platindrähte, die in eine Kugel auslaufen, herzustellen, erwähne ich hier des folgenden, sicheren und leichten Verfahrens, das ich seit vielen Jahren schon zu diesem Ende einschlage. Ich nehme, je nach der Dicke des Drahtes, drei oder mehr Grove'sche Elemente und schliesse vermittelst Quecksilber, vom Wärmepol her, durch den Platindraht, dessen Spitze, wenn sie mit der Quecksilberoberfläche zur Berührung kommt, schmilzt. Indem man diese Berührung durch allmähliches Nachdrücken des Drahtes erhält, schmilzt in wenigen Sekunden der Draht in einer Länge von 1—2 Zoll zu einer vollkommenen Kugel zusammen.

kleinen Kugel als Mittelpunkt aus verbreitete sich dann die ganze Lichtatmosphäre, die unter der Einwirkung des Magneten statt zu der früheren Lichtfläche zu einer Lichtlinie, *einer hellleuchtenden magnetischen Curve sich zusammenzog.*

Wenn, mit Ausnahme verschiedener einzelner Punkte, der ganze als Wärme-Elektrode dienende Platindraht in der bezeichneten Weise isolirt wird, so wird jeder der nicht isolirten Punkte ein Mittelpunkt allseitig sich verbreitenden Lichtes, das der Magnet zu der durch diesen Punkt gehenden magnetischen Curve zusammenzieht. Jedem der Punkte entspricht eine solche leuchtende magnetische Curve. Wenn der Platindraht nicht isolirt ist, so verbreitet sich von jedem seiner Punkte aus Licht, und wir erhalten *eine leuchtende magnetische Fläche als geometrischen Ort der durch die einzelnen Punkte des Platindrahtes gehenden magnetischen Curven.*

31.

Ueber die Einwirkung des Magneten auf die elektrischen Entladungen in verdünnten Gasen.

(Nachtrag zur vorhergehenden Abhandlung.)

(Annalen der Physik und Chemie, Bd. 103, S. 151—157. 1857. Uebers. Phil. Magazine, 16, 132—135, 1858.) 1858

39) Wir können nach den in der zweiten Hälfte der früheren Abhandlung „Ueber die Einwirkung des Magneten auf die elektrischen Entladungen in verdünnten Gasen" beschriebenen Erscheinungen sagen, dass elektrisches Licht unter den fraglichen Verhältnissen *magnetisch ist.* *) Indem solches Licht, das von einem Punkte der negativen Elektrode nach allen Richtungen hin ausgeht, durch den Magneten zu einer leuchtenden, durch denselben Punkt gehenden magnetischen Curve zusammengezogen wird, verhalten sich die ursprünglichen Strahlen, wie Ketten von Eisenfeilspänen sich verhalten würden, die wir uns als unendlich fein und vollkommen biegsam, an dem Punkte der Elektrode haftend und der Kraft der Schwere entzogen dächten. Dieses magnetische Verhalten ist durchaus verschieden von der Einwirkung des Magneten auf die leuchtenden elektrischen Strömungen. Die fragliche Erscheinung tritt, wie ich bereits nachgewiesen habe, nach der Commutation der magnetischen Pole in ganz gleicher Weise wieder auf, wonach zu erwarten stand, dass sie überhaupt unabhängig ist von der Richtung der elektrischen Stromentladung.

40) Am bestimmtesten fand diese letzte Annahme in folgendem Versuche ihre Bestätigung. Es wurde eine Röhre genommen, an deren einem Ende, wie früher, eine Kugel angeschmolzen war. Die negative Platin-Elektrode war in der Kugel so angebracht, dass sie einen Durchmesser derselben bildete, welcher auf der Längenrichtung der Röhre

*) Diese Erscheinungen zeigen sich am schönsten in weiten cylindrischen Röhren, wie sie Herr Geissler neuerdings anfertigt.

senkrecht stand. Die beiden Enden dieser doppelt eingeschmolzenen Elektrode waren ausserhalb der Kugel mit einander verbunden. Die Kugel wurde auf die einander genäherten Halbanker so aufgelegt, dass die Röhre vertical und die horizontale Elektrode *äquatorial* gerichtet war. Dann verbreitete sich, wenn, wie früher, der Ruhmkorff'sche Apparat durch die Röhre entladen wurde, von jedem Punkte der Elektrode aus Licht durch die Kugel, und dieses Licht legte sich zu einer gekrümmten Fläche zusammen, welche, eine Brücke von der einen Polfläche zur andern bildend, aus den erleuchteten durch die einzelnen Punkte der Elektrode gehenden magnetischen Curven bestand. Diese Fläche blieb vollkommen fest und unbeweglich, wenn die Kugel mit der Röhre um den einen horizontalen Durchmesser der ersteren bildenden Platindraht beliebig gedreht wurde; sie war unverändert dieselbe, es mochte die Röhre — und somit der Weg der elektrischen Entladung — schief gegen den Horizont, oder vertical oder horizontal sein, und in dem letzten Falle über den einen oder den anderen Halbanker hin, von der Stelle der grössten magnetischen Wirkung aus, sich erstrecken.

Ebenso konnte man die Röhre, wenn sie mit der Kugel auf der Stelle der grössten magnetischen Wirkung so aufstand, dass die Platin-Elektrode horizontal und *axial* gerichtet war, beliebig in der äquatorialen Ebene drehen, ohne dass die in diesem Falle sich bildende Lichtscheibe irgendwie sich änderte.

41) Als die frühere Röhre mit einer angeschmolzenen Kugel, in deren Mitte die nicht isolirte Spitze der sonst in ihrer ganzen Länge durch Glas isolirten negativen Elektrode auslief, genommen wurde, blieb die diesem Falle entsprechende leuchtende, durch die Drahtspitze gehende magnetische Curve ungeändert dieselbe, gleichviel in welchem Sinne man die Kugel mit der Röhre um ihren Mittelpunkt drehen mochte.

42) Um magnetisches Licht in der oben bezeichneten Bedeutung des Wortes auch unter anderen Verhältnissen aufzusuchen, wurden zunächst Versuche mit gewöhnlicher Reibungs-Elektricität angestellt. Der positiv geladene Conductor einer Elektrisirmaschine, welcher in eine Kugel auslief, wurde mit dieser Kugel in einer Entfernung von 20 bis 22^{cm} oberhalb des grossen Elektromagneten angebracht und aus der Kugel schöne Büschel hervorgerufen, die sich nach den Kanten der einander mit ihren abgerundeten Enden genäherten, mit Kautschuck belegten Halbanker hinzogen. Die Büschel blieben nach Erregung des Elektromagneten unverändert dieselben. Ebenso ist es mir bisher nicht gelungen, in freier Luft irgend eine Einwirkung des Magneten auf das

am negativen Pole auftretende Glimmlicht, wie es von Herrn Riess genannt wird, wahrzunehmen.

43) Dagegen war der Erfolg vollständig, als der positiv geladene Conductor der Maschine, während diese gedreht wurde, durch eine an beiden Enden in Kugeln auslaufende Geissler'sche Röhre sich entlud. Hierbei wurde die Platin-Elektrode in der einen Kugel mit dem Conductor in Berührung gebracht, während die andere Kugel auf den einander genäherten Halbankern stand. In dieser Kugel, also an der negativen Elektrode, trat das magnetische Licht auf, welches unter der Einwirkung des Magneten zu magnetischen Curven sich zusammenzog. Die Erscheinung war für das Auge eine continuirliche und dieselbe, wie bei der Anwendung des Ruhmkorff'schen Apparates, nur etwas schwächer. Auch wenn der Conductor in starken Funken sich entlud, die auf eine Metallkugel, welche mit der positiven Elektrode in Berührung war, überschlugen, zeigte sich bei jeder einzelnen Entladung an der negativen Elektrode in der Nähe des Magneten dieselbe Erscheinung.

Wenn der Conductor mit negativer Elektricität geladen war, so zeigte sich an der positiven Elektrode oberhalb des Magneten kein magnetisches Licht.

44) Bei diesen Versuchen wurden ebenfalls die dunklen Schichten in der Röhre beobachtet, und die eigentliche elektrische Lichtströmung wurde durch den Magneten jedesmal so abgelenkt, wie der früheren Beschreibung gemäss die überströmende Inductions-Elektricität.

45) Wenn man den Ruhmkorff'schen Apparat durch Geissler'sche Röhren hindurch entladet, so unterscheidet man am sichersten die beiden Elektroden von einander durch den blossen Anblick; an dem einen Ende der Röhre wird die Platin-Elektrode glühend, an dem anderen zeigen sich an dem Draht hellleuchtende Punkte.

Der glühende Platindraht ist mit einer fein geschichteten leuchtenden Hülle umgeben, und um sie bildet sich die durch einen dunklen Raum begrenzte magnetische Lichtatmosphäre. Wenn die obigen Versuche mit statischer Elektricität hiermit in Uebereinstimmung sein sollen, so müssen wir annehmen, dass diejenige Elektrode, an welcher vorzugsweise Wärme auftritt, die *negative* Elektrode sei, in directem Widerspruche mit der seit den Neef'schen Versuchen*) allgemein gewordenen Annahme, dass an der positiven Elektrode vorzugsweise Wärme, an der negativen primäres Licht auftrete; auch in Widerspruch mit vielfachen Versuchen mit galvanischen Ketten, namentlich auch

*) [Neef, Pogg. Annalen Bd. 66, S. 414, 1845.]

mit der in der Note am Ende der früheren Abhandlung angeführten Beobachtung über das Zusammenschmelzen des als positive Elektrode dienenden Platindrahtes zu einer Kugel in Berührung mit Quecksilber.

46) Für einen Augenblick durch diese Widersprüche irre geführt — auch Herr de la Rive hebt solche Widersprüche hervor*) — überzeugte ich mich indess bald aufs Vollständigste, dass bei unseren Versuchen diejenige Elektrode, welche glüht, und an welcher die magnetische Lichtatmosphäre auftritt, wirklich die *negative* ist. Denn erstens trat bei Wiederholung der Neef'schen Versuche unter dem Mikroskope mit dem geschwächten Strome des Ruhmkorff'schen Apparates Licht und Wärme gerade so auf, wie bei der Entladung durch die Geissler'schen Röhren, also umgekehrt, wie Neef es angiebt. Doch ist die Erscheinung bei verschiedener Art der Stromschwächung eine sehr veränderliche, so dass das Neef'sche Phänomen ein zusammengesetztes zu sein scheint. Zweitens ergiebt sich, wenn wir auf die Construction des Ruhmkorff'schen Apparates selbst zurückgehen, wobei der Strom in dem dünnen inducirten Drahte, den wir allein bei unseren Versuchen nehmen, mit der Richtung des inducirenden Stromes übereinstimmt, dass der Entladungsstrom durch die Röhren zu der Wärme-Elektrode *hingeht*. Das Elektrometer weiset drittens während der Entladung und überhaupt an den Enden des inducirten Drahtes (bedeutend stärker am äusseren Drahtende) freie Elektricität nach, und diese ist am Wärmepol mit der magnetischen Lichtatmosphäre *negativ*, in Uebereinstimmung mit den Versuchen, die wir mit Reibungselektricität angestellt haben. Viertens: die in dem ersten Theile der früheren Abhandlung beschriebenen Ablenkungen des Entladungsstromes in den Geissler'schen Röhren entsprechen sämmtlich der Voraussetzung, dass dieser Strom zu dem Wärmepol mit der magnetischen Lichtatmosphäre *hin*geht. Um dieses direct nachzuweisen, können wir zum Beispiel, statt des Entladungsstromes in einer Geissler'schen Röhre, welche horizontal auf eine freie Polfläche des grossen Elektromagneten gelegt ist, auf dieselbe Polfläche einen Faden einer leitenden Flüssigkeit bringen. Der Faden zerreisst, indem er in der Mitte nach entgegengesetzten Seiten abgelenkt wird, wenn wir die beiden Elektroden einer galvanischen Kette von etwa zwei Grove'schen Elementen in seine Enden eintauchen, und zwar ganz in demselben Sinne wie der frühere Entladungsstrom, wenn der Wärmepol mit der magnetischen Lichtatmosphäre der negativen Elektrode der Kette entspricht. Die Kräfte, welche auf den elektrischen Lichtstrom wirken, können wir ebenfalls veranschaulichen,

*) Traité d'Electricité II, p. 217—218.

wenn wir Quecksilber in einem flachen Gefässe auf die erregte Polplatte bringen und dann die Bewegungen beobachten, welche in demselben entstehen, wenn wir die beiden Elektroden der obigen Kette in dasselbe eintauchen. Oder wir können endlich auch zwei Spitzen an gegenüberstehenden Punkten des Gefässrandes anbringen und auf denselben selbst schwerere Kupferstreifen äquilibriren, die an einem Ende mit Platinspitzen versehen sind, welche im Quecksilber und zwar, wenn die Kupferstreifen nach der die beiden Spitzen verbindenden Linie gerichtet sind, nahe oberhalb der Mitte der Polfläche eintauchen. Wenn dann die beiden Elektroden der Kette mit den beiden Spitzen verbunden werden, so wird der Strom durch das Quecksilber geschlossen, und bei Erregung des Magnetismus gehen dann die beiden Kupferstreifen in der Mitte mit Gewalt auseinander, und die Richtung dieses Auseinandergehens stimmt hier und in dem Falle des Lichtstromes überein, wenn wir die Richtung dieses letzteren wie oben bestimmen. Leiten wir endlich noch mit den beiden Händen den Draht, welcher die Kette schliesst, zwischen den beiden auf die Polflächen gelegten Halbankern hindurch oder oberhalb oder unterhalb der Stelle der grössten magnetischen Wirkung äquatorial vorbei, so fühlen wir, dass der Draht je nach der Richtung des Stromes und der Art der Polarität, die wir hervorrufen, entweder stark nach unten herabgezogen oder nach oben getrieben wird, und beides tritt ein wie beim leuchtenden Inductionsstrom, wenn wir auch hier wieder die Richtung desselben so annehmen, dass die Wärme-Elektrode mit der magnetischen Lichtatmosphäre die negative Elektrode ist.

32.

Fortgesetzte Beobachtungen über die elektrische Entladung durch gasverdünnte Räume.

(Annalen der Physik und Chemie, Bd. 104, S. 113—128, 1858. Uebers. Phil. Magazine 16, S. 408—418. 1858.)

Magnetisches Licht.

47) Das magnetische Verhalten desjenigen Lichtes, das von der negativen Elektrode aus nach allen Seiten hin sich verbreitet, ist ein so eigenthümliches, dass ich hier zunächst noch einmal auf dasselbe zurückkomme. Am besten können wir uns dieses Verhalten veranschaulichen, wenn wir von der allbekannten Erscheinung ausgehen, dass Eisenfeilspähne, auf ein steifes Papier gestreut, welches die Pole eines Magneten bedeckt, sich in Curven zusammenlegen, die man magnetische Curven, magnetische Kraftlinien, genannt hat. Solche Curven geben auch da noch eine Anschauung von der Vertheilung der Kraft eines Magneten, wo die Kräfte der Analyse nicht mehr zur Bestimmung derselben hinreichen. In jeder solchen Curve legen sich die einzelnen Eisentheilchen, die unter der Einwirkung des Magneten selbst zu kleinen Magneten geworden sind, eine Kette bildend mit ihren befreundeten Polen aneinander. Könnten wir die Eisentheilchen der Kraft der Schwere entziehen und durch den ganzen die Pole umgebenden Raum vertheilen, so würden solche Ketten, die Form magnetischer Curven annehmend, das ganze magnetische Feld durchziehen und ein sichtbares Bild von der Vertheilung der magnetischen Kraft geben. Die Glieder jeder Kette würden sich in dem Zustande eines stabilen Gleichgewichts befinden; jeder Theil derselben würde, durch eine äussere Kraft aus der ursprünglichen Lage herausgebracht, sich selbst überlassen, wieder in diese Lage zurückkehren. Durch einen gegebenen Punkt geht immer nur eine einzige magnetische Curve; durch die Stelle, die irgend ein Glied der Kette im Raume einnimmt, ist die Form der ganzen Kette bestimmt, so dass, wenn wir dies eine Glied festhielten, dabei aber

der Kette eine beliebige Form gäben, diese Kette, sich selbst überlassen, die ursprüngliche Form der magnetischen Curve wieder annehmen würde. Denken wir uns die Glieder einer solchen der Schwere entzogenen Kette auch dann noch aneinander haftend, nachdem sie nach Aufhören der inducirenden Wirkung des Magneten ihren Magnetismus verloren haben, und denken wir uns ferner von einem gegebenen Punkt des Raumes aus beliebig viele solcher Ketten von beliebiger Form nach allen Richtungen hin ausgehend, so werden sich nach Erregung des Magneten alle solche Ketten in dieselbe Curve zusammenziehen, in diejenige magnetische Curve nämlich, welche durch den gegebenen Punkt vollkommen bestimmt ist.

48) Die Voraussetzungen, welche dieser Erscheinung zu Grunde liegen, sind schwerlich zu realisiren, und darum wird die Erscheinung selbst wohl nur eine blosse Fiction bleiben. Sie wird aber zur Wirklichkeit, wenn wir an Stelle der gegliederten eisernen Ketten Strahlen magnetischen Lichtes nehmen.

49) Wenn wir die elektrische Entladung durch eine Geissler'sche Röhre leiten, an deren Enden Kugeln angeschmolzen sind, bis zu deren Mittelpunkten die Elektroden hineinragen, so strahlt von jedem Punkte der negativen Elektrode solches magnetisches Licht aus und verbreitet sich durch den ganzen innern Raum der diese Elektrode umschliessenden Kugel. Diese Ausstrahlung beschränkt sich auf den Endpunkt der negativen Elektrode, wenn der übrige Theil derselben durch umgeschmolzenes Glas isolirt ist. Die von diesem Punkte ausgehenden Strahlen ziehen sich alle in eine einzige Lichtlinie zusammen, welche mit der durch das Ende der negativen Elektrode gehenden magnetischen Curve zusammenfällt und diese in Folge jener Zusammenziehung des Lichtes, hell beleuchtet, dem Auge sichtbar macht.

Jeder Strahl, der sich nach dieser magnetischen Curve krümmt und einen Theil des Lichtbogens bildet, verhält sich hierbei also gerade so, als ob er aus Elementen bestände, die als kleine Magnete mit ihren befreundeten Polen an einander stiessen; er verhält sich als ein magnetischer Faden, der vollkommen biegsam ist und demzufolge, wenn er in irgend einem Punkte (dem Endpunkte der negativen Elektrode) festgehalten wird, die Form der durch diesen Punkt gehenden magnetischen Curve annimmt; oder er verhält sich auch, was auf dasselbe hinauskommt, wie ein zu einer unendlich dünnen Spirale gewundener elektrischer Strom.[1])

50) Ich habe durch diese Erörterungen bloss die Natur des Phänomens vollkommen klar machen wollen, bin aber weit entfernt, die

Natur des magnetischen Lichtes selbst dadurch näher bezeichnen zu wollen*).

51) Welches sind aber die Verhältnisse, unter welchen magnetisches Licht entsteht, das bisher nur an der negativen Elektrode beobachtet wurde und hier von demjenigen Lichte scharf sich scheidet, welches den elektrischen Lichtstrom bildet und durch den Magneten die Ablenkung eines solchen Stromes, eine elektromagnetische Ablenkung, erleidet? Wodurch unterscheidet sich dies zwiefache Licht, auf welches der Magnet so ganz verschieden einwirkt?

Von der negativen Platin-Elektrode reissen sich in der Regel Platinpartikel los, die sich an die innere Wandung der die Elektrode umgebenden Glaskugel absetzen**). Eine Folge davon ist, dass diese Kugel sich allmählig schwärzt und nach längerer Wirkung, wenn sie nicht zu gross ist, von Innen mit einem schönen Metallspiegel bekleidet wird. Durch die chemische Analyse können wir das Platin des Beleges nachweisen. Dass es diese von der negativen Elektrode sich losreissenden Platinpartikel sind, welche, indem sie glühen, das magnetische Licht ausmachen, ist offenbar diejenige Annahme, welche am nächsten liegt. Zu bemerken bleibt hierbei aber, dass nicht in allen Fällen die Kugel sich schwärzt; und zwar selbst in solchen Fällen — ich führe bespielsweise Röhren, die Fluorborgas enthalten, an — wo das magnetische Licht sehr schön und die Einwirkung des Magneten

*) Ueber die Bildung der *Lichtflächen*, die, wenn die nicht mehr isolirte Elektrode von jedem Punkte ihrer ganzen Länge magnetisches Licht ausstrahlt, an die Stelle der magnetischen Lichtcurven treten, wüsste ich dem früher schon Bemerkten (38) nichts mehr hinzuzusetzen. Ich möchte nur noch bei dieser Gelegenheit einer weiteren, etwa 32 cm langen Röhre Erwähnung thun, in welche die eine Elektrode 10 cm hineinragte. Wenn diese Elektrode bei der elektrischen Durchströmung die negative wurde, so füllte sich die Röhre, so weit die Elektrode hineinreichte, mit magnetischem Lichte. Dieses zog sich, wenn die Röhre in äquatorialer Lage auf die einander genäherten Halbanker gelegt wurde, zu einer einzigen gewölbeförmigen schönen Lichtfläche zusammen. Wurde die Röhre in axialer Richtung aufgelegt, so zog sich das magnetische Licht in die durch den Draht gehende Ebene und bildete in dieser Ebene von einem Halbanker zum andern einen prächtigen, auf dem Glase der Röhre aufstehenden Bogen, der auf seiner innern Seite am hellsten und vollkommen scharf begrenzt war und der oberhalb der Mitte zwischen den beiden Halbankern den Draht berührte. Dieser Bogen blieb unverrückt und ungeändert, wenn die Röhre ihrer Länge nach verschoben wurde, so lange bis der Endpunkt der Elektrode über die Mitte zwischen den Halbankern hinwegrückte; dann änderte sich die Erscheinung in einer Weise, die hier keiner weiteren Beschreibung mehr bedarf.

**) Ich habe nie eine Tendenz dieser Theilchen, sich nach der entgegengesetzten Elektrode hin zu bewegen, bemerkt.

auf dasselbe sehr stark ist, wird auch nach längerer Zeit keine Ablagerung auf die Kugel bemerkbar. Diese Ablagerung hat überhaupt ein sehr verschiedenes Ansehen je nach der Art des Gases in der Röhre. Die Art dieses Gases hat ferner einen Einfluss auf die Erwärmung der negativen Elektrode, die unter sonst gleichen Umständen bald hell glüht, bald nicht glüht. Die Aussendung leuchtender Platinpartikel von der negativen Elektrode muss namentlich in demjenigen Falle auffallend erscheinen, wo der Funken einer Elektrisirmaschine von sehr mässigen Dimensionen durch die Röhre entladen wird (42), und wo unter gewöhnlichen Verhältnissen eine Erwärmung der negativen Elektrode kaum nachweisbar sein würde.

Die Erwärmung der negativen Elektrode theilt sich der sie umgebenden Kugel mit, wahrscheinlich grösstentheils durch die von jener ausgesendeten Platinpartikel.

52) Es bedurfte wohl kaum noch eines besonderen Versuches, um festzustellen, dass, wenn eine frische Röhre in äquatorialer Lage so zwischen die beiden einander genäherten Halbanker gebracht wird, dass die Kugel mit derjenigen Elektrode, die zur negativen bestimmt ist, von Aussen her an dieselben anstösst (ich wähle diese eine Lage) und dann erst der elektrische Strom durch die Röhre hindurchgeleitet wird, und das magnetische Licht in einer sichelförmigen Scheibe zusammengezogen erscheint — die Kugel nur an derjenigen Stelle geschwärzt wird, wo die Lichtscheibe ihre innere Wandung berührt.

53) Die Farbe des magnetischen Lichtes scheint von der Art des Gases in der Röhre abzuhängen. In den meisten Fällen ist dasselbe violett, mehr oder weniger ins Rothe übergehend, oft von intensiv grünem Lichte begleitet (35), oft ist es schön blau, und unter sonst weniger vortheilhaften Umständen habe ich auch eine intensiv gelbe magnetische Lichtfläche gesehen.

Bisher haben wir immer Platin-Elektroden vorausgesetzt. Bei den fraglichen Erscheinungen scheint indess das Metall der Elektroden an und für sich von keinem Einflusse. Ich habe bereits das anscheinend ganz gleiche Verhalten von stark verkupferten, versilberten, vergoldeten Platin-Elektroden angeführt (37). Eine Nähnadel als negative Elektrode gab die gleiche Erscheinung, ebenso eine bleierne und zinnerne Elektrode. (Der im Glase eingeschmolzene Theil der Elektroden kann bekanntlich nur Platin sein, und mit diesem wurden die zu untersuchenden Metalle passend verbunden.)

54) Nach diesen Versuchen sind wir, wie es scheint, zu dem Schlusse berechtigt, dass insbesondere auch die *diamagnetische* oder *paramagnetische Natur* der von den Elektroden abgerissenen Partikel

bei dem magnetischen Lichte nicht in Betracht kommt. Wollten wir dagegen annehmen, dass diese abgerissenen Partikel, die Elektricität der Elektrode beibehaltend, dadurch, dass sie sich bewegten, elektrische Elementarströme erzeugten, und wollten wir überdies annehmen, dass ihre Bewegung eine spiralförmige wäre, so hätten wir allerdings für die beobachteten Erscheinungen eine Art von Erklärung, aber bis jetzt ist eine solche Erklärung wenig gerechtfertigt.[1])

55) Das magnetische Licht giebt auch unter der magnetischen Erregung keine Spur von *Polarisation.*

56) Bei der Ungewissheit, in der wir uns in Beziehung auf das magnetische Licht befinden, und bei dem vollständigen Mangel an analogen Erscheinungen machte ich noch mehrfache Versuche, unter anderen Verhältnissen magnetisches Licht aufzufinden. Doch alle solche Versuche blieben ohne Erfolg, und einen derselben zu erwähnen, mag hinreichen.

Ich richtete meine Aufmerksamkeit insbesondere auf das merkwürdige fluorescirende Licht, dessen nähere Kenntniss wir Hrn. Stokes verdanken. Um es hervorzurufen bediente ich mich einer engen Geissler'schen Röhre, die beim Hindurchgehen des Stromes intensiv blaues Licht gab, und befestigte dieselbe in der Mitte einer weiteren Röhre, die Wasser mit aufgelöstem Aesculin enthielt. Nach Erregung des Stromes bildete das fluorescirende Licht im Wasser eine cylindrische Lichthülle von der bekannten hellblauen Farbe, welche die engere Röhre umgab. Als diese Vorrichtung in äquatorialer Lage auf die beiden einander genäherten Halbanker gelegt wurde, zeigte sich nach Erregung des Elektromagneten keinerlei Einwirkung auf die cylindrische Hülle fluorescirenden Lichtes.

Einstweilen tritt also das magnetische Licht nur unter sehr beschränkten Umständen auf, und elektrische Verhältnisse scheinen zu seiner Entstehung erforderlich zu sein.

Elektromagnetische Einwirkung auf den elektrischen Lichtstrom.

57) Durch die früher von mir mitgetheilten Beobachtungen (9—15) ist bereits nachgewiesen, dass, abgesehen von sekundären Erscheinungen, der Magnet auf den elektrischen Lichtstrom in gasverdünnten Röhren in gleicher Weise wie auf den an metallische Leiter gebundenen elektrischen Strom wirkt. Wenn es auch der grossen Schwierigkeiten in der technischen Ausführung wegen bisher nicht gelang, Apparate herzustellen, die mit elektrischem Licht die Rotation des Barlow'schen Rades und ähnliche Erscheinungen wiedergeben, so erkennen wir

doch schon in den erhaltenen unvollständigen Resultaten eine neue Bestätigung der obigen Behauptung.

58) Die folgende Beobachtung möchte der Erwähnung nicht unwerth sein. Dass in Folge der magnetischen Anziehung und Abstossung des Lichtstroms dessen Intensität an einzelnen Stellen bald vermehrt, bald vermindert wird, wurde von mir gleich anfangs beobachtet und war von vornherein klar. Seitdem habe ich aber durch die Annäherung einer Röhre, durch welche die Entladung ging, an den Magneten, den Lichtstrom sich schwächen und ganz erlöschen und zugleich, was eine Aenderung in den Leitungsverhältnissen anzeigt, den Gang des Hammers des Ruhmkorff'schen Apparates dadurch gestört werden gesehen.

59) Ferner verdient die *verschiedenartige* Einwirkung auf verschieden gefärbtes Licht, das in dem elektrischen Lichtstrom ursprünglich vereinigt ist, unsere Aufmerksamkeit. Sie tritt z. B. an Röhren, die Bromwasserstoff oder Jodwasserstoff enthalten, auf, und das verschiedene Licht entspricht wahrscheinlich verschiedener ponderabeler Materie in den Röhren. Das ursprüngliche Licht wird dadurch in Licht von verschiedener Farbe zerlegt, das unter gewissen Verhältnissen als verschieden gefärbte Blitze auftritt (18). Davon hängt auch die später noch zu erwähnende Erscheinung ab, dass in engeren Röhren die Farbe des Entladungsstroms durch den Magneten sich vorübergehend ändert.

60) Das elektrische Licht des Entladungsstroms verbreitet sich in den Geissler'schen Röhren auch auf diejenigen Theile, die nicht auf dem Wege der Entladung liegen. Dies geschieht z. B. in längeren engen Röhren, die an irgend einer Stelle der Hauptröhre angeschmolzen sind und die, nachdem sie zur Evacuirung gedient haben, an ihren Enden zugeschmolzen und zuletzt nahe der Hauptröhre abgeblasen werden. Die nachstehende Beobachtung beweist, dass dieses Licht kein ruhendes ist, wie das Licht einer Flamme und das magnetische: es ist Licht, das bis zum Ende der Röhre hin und wieder zurückströmt, um dann wieder einen Theil der allgemeinen elektrischen Strömung zu bilden.

61) Unter den von Hrn. Geissler auf den Effekt berechneten Röhren war eine cylindrische von etwa 25 ^{cm} Länge und 3 — 4 ^{cm} Dicke. In derselben befand sich eine mehrmals umgebogene enge Röhre, die im Ganzen eine Länge von mehr als einem Meter hatte, deren eines Ende eine Platinelektrode enthielt und in das erste Ende der weitern Röhre eingeschmolzen war, während das andere Ende derselben in die letztgenannte Röhre mündete, nahe dem zweiten Ende

derselben, wo sich dieselbe stark verengte und dann erst wieder sich erweiterte, um die andere Elektrode aufzunehmen. Wenn der elektrische Strom aus der engen Röhre in die weitere sich ergoss, so ging er nur zum Theil durch die Verengung, theilweise verbreitete er sich rückwärts in die weite Röhre, schöne Ringe um die zusammengelegte enge Röhre bildend. Als die Röhre in äquatorialer Lage auf den Magneten gelegt wurde, vertheilte sich das Licht auf den unteren und oberen Theil derselben. Von der Oeffnung der engeren Röhre senkte sich die Strömung nach unten, zog sich an dem unteren Theil der Röhre rückwärts und stieg dann auf, um sich an dem oberen Theil der Röhre nach der Verengung hinzuziehen. Bei anderer Stromrichtung und commutirter magnetischer Polarität ergaben sich die vorauszusagenden Modificationen der Erscheinung. Auffallend war es, dass an dem *zweiten* Ende der weiteren Röhre immer magnetisches Licht auftrat, welches auch die Richtung der elektrischen Entladung sein mochte.

Ablenkbarkeit der elektrischen Lichtströmungen durch Annäherung von Leitern.

62) Ein merkwürdiger Umstand ist die verschiedene Ablenkbarkeit der elektrischen Lichtströmungen, wenn wir die Hand oder einen anderen Leiter denselben nähern. Diese Ablenkbarkeit ist je nach der verschiedenen Natur der ponderablen Substanz in den Röhren sehr verschieden; sie ist namentlich höchst merkwürdig, wenn die Röhren Dampfspuren von Kieselfluorgas enthalten. Ich theile hier eine Beobachtung mit, die von Herrn Geissler herrührt, und die ich als die seinige hier gebe.

63) Unter den verschiedenen Formen, die Herr Geissler neuerdings seinen Röhren giebt, zeichnet sich eine Form durch die Mannigfaltigkeit der Erscheinungen, die sie bietet, besonders aus. Röhren dieser Art von 50 bis 70^{cm} Länge sind aus mehreren Theilen zusammengesetzt. In der Mitte haben sie eine cylindrische oder ellipsoïdische Erweiterung, an den Enden befinden sich ein weiterer kurzer Cylinder und eine Kugel, in welchen die beiden Platin-Elektroden eingeschmolzen sind. Der mittlere Theil ist mit den beiden äusseren durch zwei Röhren von verschiedener Weite im Innern verbunden, die engere dieser Röhren ist eine etwas weite Thermometerröhre.

64) Eine der eben beschriebenen Röhren enthielt Kieselfluorgas; der elektrische Lichtstrom verbreitete sich in dem mittleren weiten Cylinder mit einer verwaschenen Farbe, während die Intensität des Lichts in den beiden Verbindungsröhren intensiver war und zwar bei

Weitem am intensivsten in der engeren dieser beiden Röhren. In der die negative Elektrode einschliessenden Kugel verbreitete sich eine schöne Atmosphäre magnetischen Lichtes.

65) Schon bei der Annäherung der Hand aus grösserer Entfernung wurde das Licht in dem mittleren Cylinder abgelenkt. Wenn man den Cylinder mit den Fingern berührte, wurde das Licht bald zu den berührten Stellen hingezogen und concentrirte sich daselbst, bald floh es von den berührten Stellen, indem zugleich breite dunkle Schichten die Lichtströmung in dem Cylinder unterbrachen. Bei einer Commutation des Ruhmkorff'schen Apparates trat immer die entgegengesetzte Erscheinung auf.

Die beschriebenen, sehr auffälligen Erscheinungen würden einen inneren Widerspruch einschliessen, wenn zu beiden Seiten des mittleren Cylinders Alles symmetrisch wäre. Die freie Spannung der beiden Enden des inducirten Drahtes ist eine sehr verschiedene, aber man überzeugt sich bald, dass hierin der Grund nicht lag. Es blieb also nichts übrig, als diesen Grund in der verschiedenen Weite der beiden Verbindungsröhren zu suchen, und es ergab sich wirklich, *dass das Licht in dem mittleren Cylinder durch die Hand entweder angezogen oder abgestossen wird, je nachdem die positive Lichtströmung aus der weiteren oder engeren dieser beiden Verbindungsröhren in den weiten mittleren Cylinder eintritt.*

Spectra der elektrischen Lichtströmungen.

66) Es stand mit Sicherheit zu erwarten, dass, wenn man eine Röhre, welche die Ruhmkorff'schen schwarzen Streifen deutlich zeigt, durch ein Prisma ansieht, diese Streifen zu Longitudinalstreifen sich verlängern, welche durch alle Farben des Spectrums sich hindurchziehen. Ich fand dies gleich bei der Prüfung der ersten Geissler'schen Röhren auf dem hiesigen physikalischen Cabinette bestätigt und überzeugte mich zugleich bei dieser Gelegenheit, dass solche Röhren, je nach der Natur der Spuren von Gasen oder Dämpfen, die sie enthalten, schöne Spectra von der grössten Mannigfaltigkeit geben. Alle diese Spectra stimmen im Allgemeinen darin überein, dass die verschiedenen Farben nicht wie in dem gewöhnlichen Sonnenspectrum in einander überfliessen, sondern vielmehr scharf begrenzt sind, und die einzelnen Farbenräume wiederum in ebenso scharf sich begrenzende hellere und dunklere Streifen zerfallen. *Jedes Gas hat dabei sein charakteristisches Spectrum.*

67) Wenn wir durch eine der früher beschriebenen Röhren (63) den Ruhmkorff'schen Apparat entladen, so ändert sich nicht nur die

Intensität des Lichtes von einem Theile der Röhre zum anderen, sondern auch die Farbe; das Auge sieht z. B. in einem Theile roth, in einem anderen violett und in dem mittleren Cylinder eine mehr verwaschene Farbe, so dass man glauben sollte, die leuchtend werdende ponderable Materie des Lichtstromes sei in der Röhre verschieden vertheilt. Dazu kommt noch, dass in vielen Fällen die Farbe des elektrischen Lichtes bei seinem Durchgange durch den engeren Theil der Röhre, den man, etwa in äquatorialer Lage, auf die einander genäherten Anker des grossen Elektromagneten legt, nach Erregung desselben sich ändert, und wenn das Licht vorher z. B. schön roth oder violett war, schön grün oder blau wird (59). Aber in allen angeführten Fällen bleibt, was immerhin auch der Farbeneindruck fürs Auge sein mag, für eine dasselbe Gas enthaltende Röhre die Vertheilung der Farben in dem Spectrum *ganz von derselben Art*, und nur die Intensität derselben in den verschiedenen Theilen des Spectrums ändert sich in verschiedenem Maasse. Während also das Auge, dessen Urtheil überdiess von der äusseren Beleuchtung wesentlich beeinflusst wird, keinen Aufschluss mehr giebt, *ist durch das Spectrum die Art des in der Röhre befindlichen Gases oder Dampfes unzweifelhaft bestimmt.*

68) Nehmen wir beispielsweise eine enge Röhre mit Platin-Elektroden, deren inneres Volumen nur einen kleinen Bruchtheil eines Kubikcentimeters beträgt, die, ursprünglich mit Wasserstoffgas gefüllt, so weit evacuirt worden ist, bis die barometrische Spannung sich auf zwei oder drei Millimeter vermindert hat, so sind die Spuren des Gases so gering, dass sie für keine chemische Reaction mehr vorhanden sind, und die feinste chemische Waage giebt ihr Gewicht, Bruchtheile der Tausendtheile eines Milligramms, nicht mehr an; wenn aber der elektrische Strom durch die Röhre geleitet wird, so werden die Spuren des leuchtend gewordenen Gases durch ein schönes charakteristisches Spectrum dem fast geblendeten Auge sichtbar und kenntlich gemacht.

69) Einstweilen habe ich solche Spectren nur vermittelst eines Fernrohrs, wie es Fraunhofer zur Beobachtung seiner Linien im Spectrum anwandte, beobachtet, ohne Winkel zu messen. Der brechende Winkel des Flintglasprisma, das unmittelbar vor dem Objectiv des Fernrohrs angebracht war, betrug 45°. Das Ocular desselben wurde aber in der Regel durch ein anderes ersetzt, das weniger stark vergrösserte. Die enge Röhre, durch welche der Ruhmkorff'sche Apparat entladen wurde, war in einer Entfernung von 4^m vertical aufgehängt.

70) *Wasserstoffgas* gab ein verhältnissmässig einfaches Spectrum, in dem fünf helle Streifen von nahe gleicher Breite besonders hervortraten[2]): ein hell violetter Streifen A an der Grenze des Spectrums,

drei Streifen im Grünen, *B* die Grenze derselben nach dem Violetten hin, *D* die Grenze nach der anderen Seite hin bildend, und zwischen beiden *C* etwa um die Hälfte weiter von *B* als von *D* abstehend, und endlich ein schöner gelber Streifen *E*. Von den drei Streifen im Grünen ist *D* besonders hellglänzend in gelblicher Nüance, dann folgt, was die Intensität betrifft, *C* und zuletzt *B*. Das Rothe tritt stark hervor und verbreitet sich über einen grösseren Raum; eine scharfe schwarze Linie befindet sich nahe seiner äussersten Grenze, nach der anderen Seite hin ist es durch eine breitere schwarze Linie von dem gelben Streifen *E* scharf getrennt. Auf diesem Streifen concentrirt sich das ganze gelbe Licht. Der Streifen *D* wird von dem Streifen *E* durch ein graues Intervall getrennt, das dem Intervalle zwischen *D* und *C* nahe gleich ist. Das violette Licht beschränkt sich auf den Streifen *A*. Der Raum zwischen *A* und *B* zerfällt in einen vollkommen schwarzen Raum und in einen Raum von unbestimmter dunkler Farbe. Der schwarze Raum, der den Streifen *A* scharf begrenzt, ist etwa drei Mal so breit als jeder einzelne der fünf hellen, gleich breiten Streifen, und etwa ein Drittel des ganzen Raumes zwischen *A* und *B*, oder zwischen *B* und *D*.

71) Um ein von dem eben beschriebenen Spectrum ganz verschiedenes noch hervorzuheben, wähle ich das schöne Spectrum von *Fluorborgas*. In diesem Spectrum, das von einer Grenze zur anderen helle Farben zeigt, nimmt Roth mit Orange und Gelb etwa ein Fünftel des ganzen Raumes ein, von den übrigen vier Fünftel kommen zwei auf das Grün und die übrigen auf das Violett. Merkwürdig ist, dass das Auge keinen Uebergang zwischen Violett und Grün wahrnimmt, indem das Blau ganz zu fehlen scheint. Gelb und Orange bilden zwei scharf begrenzte helle Streifen von nahe gleicher Breite, beide zusammen sind etwa um die Hälfte schmäler als das Rothe, von dem das Orange durch eine starke schwarze Linie getrennt ist. Nahe an der Grenze des Rothen befindet sich eine zweite solche schwarze Linie. Der Raum des Rothen zwischen diesen beiden schwarzen Linien wird durch fünf *feine* schwarze Linien in sechs gleiche Theile getheilt, und in denselben Abständen von einander befindet sich auch jenseits der erstgenannten starken schwarzen Linie, im Orange und Gelben, noch eine gleiche Anzahl solcher feinen schwarzen Linien. Im Grünen, der gelben Grenze etwa um die Hälfte näher als der violetten, befindet sich ein hellgrüner Streifen, etwa so breit als der gelbe Streifen; er theilt das Grüne in zwei von einander wesentlich verschiedene Theile. Der dem Gelben zunächst liegende Theil hat in der Mitte einen hell glänzenden Streifen, das Grüne zu beiden Seiten dieses Streifens ist nicht gleichmässig, es

wird nach den beiden äusseren Grenzen hin immer dunkler. Der übrige Theil des Grünen und des Violetten haben ein ganz charakteristisches Ansehen. Der Raum desselben erscheint in 16 Streifen getheilt, von denen 10 auf das Violette kommen. Jeder einzelne Streifen ist nach der Seite des Rothen hin hell und wird nach der entgegengesetzten Seite hin allmählig dunkel. Die Breite der Streifen ist nicht ganz dieselbe, gegen die Mitte des Violetten hin ist sie am grössten, der breiteste dieser Streifen ist auf der einen Seite hell glänzend violett, auf der andern absolut schwarz. An dieser Stelle erscheint das Spectrum im Fernrohre wie eine cannelirte Säule in heller Beleuchtung.

72) Einstweilen beschränke ich mich auf die Beschreibung der obigen beiden Spectra. Die schwierigste Frage bei der Entladung der Elektricität durch gasverdünnte Räume betrifft die chemische Natur der ponderablen Substanz, welche die so unendlich mannigfaltigen Lichterscheinungen hervorbringt, und diese kann mit Sicherheit nur in Gemeinschaft mit der prismatischen Analyse des dabei auftretenden Lichtes behandelt werden, um so mehr, da auf diesem Wege auch jede plötzliche oder allmählige chemische Veränderung der Substanz erkannt wird.

73) Als Bestätigung der letzten Behauptung führe ich das folgende Beispiel an. Es schien mir vor Allem wünschenswerth, das Spectrum des Sauerstoffgases zu bestimmen und wie die übrigen Spectra in Farben darzustellen. Herr Geissler stellte mit seiner bekannten Kunstfertigkeit die dazu erforderliche Röhre her, wobei er das Sauerstoffgas aus chlorsaurem Kali bereitete. Das hellfleischfarbige Licht in dem engen Theile der Röhre gab ein Spectrum, das sich durch einen besonders hellen Streifen am Ende des Rothen und durch zwei schöne orangefarbene Streifen, die durch einen dünneren, vollkommen schwarzen getrennt waren, auszeichnete. Auch im Grünen traten helle Streifen hervor, das Violette war sehr dunkel. Eine Verständigung über das, was nach einander gesehen wurde, war zwischen mir und dem Studierenden Herrn Liek, der für mich das Spectrum zeichnen wollte, nicht möglich, und ich erkannte den Grund davon bald in der fortwährenden Aenderung des Spectrums. Das Violette trat intensiver mit schwarzen Stellen hervor, die helle Linie, auf welche das Rothe ursprünglich beschränkt war, erblasste immer mehr, in einem breitern Raume traten hellrothe Streifen mit dunklen abwechselnd auf; mit einem Worte, das ganze Spectrum hatte sich verändert. Das Licht in der engen Röhre wurde immer mehr grün und nahm an Helligkeit zu. Ich liess den etwas verstärkten Inductionsstrom des durch 5 statt durch 3 Grove'sche Elemente erregten Ruhmkorff'schen Apparates

fortwährend in gleicher Richtung durch die Röhre hindurchgehen. Das Spectrum blieb eine Zeitlang so constant, dass es bequem gezeichnet werden konnte, fing dann aber an, rasch an Intensität abzunehmen, wobei das Licht in der engen Röhre allmählig ganz violett wurde, bald wurde die Entladung durch die Röhre von Zeit zu Zeit unterbrochen und endlich zeigten sich nur noch einzelne Entladungen, bis zuletzt der Strom *ganz aufhörte* durch die Röhre hindurchzugehen.

Ich halte das ursprüngliche Spectrum für das Spectrum des Sauerstoffgases, das, unter freier Form, offenbar allmählig verschwindet. Das zweite Spectrum ist, wenn wir nicht an Ozonbildung denken wollen, mit Wahrscheinlichkeit den hierbei allmählig sich geltend machenden Spuren eines anderen aus der Röhre nicht ganz vertriebenen Gases zuzuschreiben, worüber entscheidende Versuche noch anzustellen sind. Nach vollständigem Verschwinden des freien Sauerstoffgases enthält die Röhre ganz in Uebereinstimmung mit den älteren Versuchen des Herrn Faraday und den neueren des Herrn Masson zu wenig Gas, um den Strom durchzulassen, das Innere der Röhre verhält sich wie ein absolut leerer, nicht leitender Raum.

Schon vor dem gänzlichen Erlöschen des Stromes in der Röhre suchte ich durch eine Commutation die Continuität der Entladung wieder herzustellen, aber umsonst. Bei dieser Commutation erfüllte sich die Kugel um den negativen Pol mit dem früher schon erwähnten räthselhaften, schön grünen Lichte (35), aber auch dieses Licht erlosch, sobald der Strom aufhörte, durch die Röhre zu gehen.

Der Strom war im Ganzen $1\frac{1}{4}$ Stunde durch die Röhre gegangen.

74) Ich breche hier ab, weil, isolirt von der chemischen Frage, die Untersuchungen über die Spectra der verschiedenen Gase den nothwendigen Grad von Sicherheit nicht haben können. Diese Spectra sind wesentlich verschieden von denjenigen, welche dem elektrischen Lichtbogen in der Luft und den in demselben glühenden oder verbrennenden Metallen entsprechen. Ich zweifle daran, dass von den Elektroden übergeführte Theilchen Einfluss auf die oben beschriebenen Spectra haben (51), sondern glaube vielmehr, dass dieselben lediglich dem verdünnten Gase angehören. Der elektrische Lichtbogen in der Luft ist dagegen niemals frei von übergeführter Materie (Kohle oder Metall), deren Leuchten neue, jeder Substanz eigenthümliche, helle Linien zu dem Spectrum hinzubringt.*)

75) In Verbindung mit der chemischen Frage gedenke ich die

*) Vergleiche die interessante Arbeit von Herrn Masson über elektrische Photometrie [Ann. de Chim. et de Phys. 31, S. 324, 1851].

Frage über die Spectra wieder aufzunehmen. Es ist, um den Ausdruck zu gebrauchen, eine Art von Mikrochemie, der wir hier begegnen, und Verhältnisse finden hierbei statt, welche von denjenigen, unter welchen chemische Wirkungen gewöhnlich stattfinden, verschieden sind. Erst dann werden mannigfaltige, für die Molekulartheorie nicht unwichtige Fragen, wie die nachstehenden, eine befriedigende Lösung finden.

Wie leitet sich das Spectrum eines gemengten Gases aus den Spectra der einzelnen Gase ab?

Wie verhalten sich die Spectra vor und nach der chemischen Zersetzung eines zusammengesetzten Gases durch den Strom?

Wie giebt sich in dem Spectrum die chemische Verbindung, welche das Gas mit der Elektrode eingeht, kund?

Geben isomerische Gase gleiche Spectra?

33.

Ueber einen neuen Gesichtspunkt, die Einwirkung des Magneten auf den elektrischen Strom betreffend.

(Annalen der Physik und Chemie, Bd. 104, S. 622—630. 1858. Uebers. Phil. Magazine 18, S. 1—7, 1859.)

76) Die kreisende Bewegung eines Magnetpols um den Leitungsdraht und eines Leitungsdrahtes um den Magnetpol sind Bewegungserscheinungen, welche, als sie von Herrn Faraday zuerst beobachtet wurden, die Aufmerksamkeit um so mehr in Anspruch nahmen, als sie bis dahin ohne Analogie waren. Indem Laplace und Biot auf die Wirkung zwischen dem Pole und einem einzelnen Elemente des linearen Stromleiters zurückgingen, erhielten sie eine Elementarkraft, die dem Quadrate der Entfernung zwischen dem Pole und dem Stromelemente umgekehrt proportional ist, und deren Richtung zugleich auf der Richtung des Stromelementes und derjenigen geraden Linie, welche dasselbe mit dem Pole verbindet, senkrecht steht. Diese Kraft, welche sowohl nach einer Commutation der magnetischen Polarität als auch nach einer Commutation der Stromrichtung in entgegengesetztem Sinne wirkt, würde das Stromelement, wenn es frei beweglich wäre, parallel mit sich selbst in einem Kreise um diejenige Linie herumführen, die parallel mit dem Elemente durch den Pol gelegt wird.

Wenn wir an die Stelle des als Punkt gedachten Poles, der immer nur eine mathematische Fiction bleibt, einen Magneten von beliebiger Gestalt setzen, so tritt in der Bestimmung der Richtung der Kraft an die Stelle der durch den Pol gehenden geraden Linie diejenige magnetische Curve, welche dadurch, dass sie durch das Stromelement geht, vollkommen bestimmt ist. Es ist weder eine Kraft vorhanden, welche die Richtung des Stromelementes ändert, noch eine Kraft, welche dasselbe der magnetischen Curve entlang nach einer Stelle grösserer magnetischer Wirkung hintreibt.

77) Das Vorstehende giebt unter der Form eines Integrals den Ausdruck für die Totalwirkung eines Magneten auf einen Strom, dessen Träger ein linearer Leiter von beliebiger Form ist. Nur ist hierbei bisher immer vorausgesetzt worden, dass diese Form unverändert dieselbe bleibe. Es ist ein neuer Gesichtspunkt, wenn wir den Leiter als *vollkommen biegsam* betrachten und dann nach der Form fragen, die ein solcher Leiter als Träger des Stromes unter der Einwirkung eines Magneten annimmt. Hier ergeben sich aus den einfachsten mechanischen Principien die folgenden Gesetze.

78) I. *Wenn auf einen vollkommen biegsamen Leiter, durch welchen ein elektrischer Strom geht, beliebige magnetische Kräfte wirken, so kann Gleichgewicht nur dann bestehen, wenn jedes Element des Leiters so gerichtet ist, dass die magnetische Wirkung auf dasselbe verschwindet, das heisst, wenn der Leiter die Form einer magnetischen Curve annimmt.*

Wenn diese Bedingung nicht erfüllt werden *kann*, so muss der Leiter, wenn seine kleinsten Theile nicht durch Cohäsion oder durch andere Kräfte zusammengehalten werden, in Folge der magnetischen Einwirkung nothwendig zerrissen werden. Nichts ändert sich, wenn wir in den vorstehenden Betrachtungen an die Stelle des vollkommen biegsamen Stromträgers einen elektrischen Strom selbst setzen, der nicht an einen Leiter gebunden ist, sondern durch einen Raum, in dem ponderable Materie, die zu seiner Ueberführung dient, vertheilt ist, seinen Weg frei sich suchen kann. Ein solcher Strom wird, bevor der Magnet wirksam ist, eine mehr oder weniger wechselnde Bahn verfolgen, unter der Einwirkung desselben aber den Weg einer magnetischen Curve nehmen. Wenn er das nicht *kann*, so kann auch der Strom nicht fortbestehen, die Elektricität muss sich verlieren, ohne einen solchen eigentlichen Strom zu bilden.

79) II. *Wenn der vollkommen biegsame Leiter unter der Einwirkung des Magneten auf einer gegebenen Oberfläche im Gleichgewichte sein soll, so muss die Richtung der auf jeden Punkt des Leiters wirkenden Kraft mit der Normalen der Oberfläche in diesem Punkte zusammenfallen.*

Um diese Bedingung zu erfüllen, muss für jeden Punkt des Leiters ausser dem Elemente des Leiters selbst, auch das Element der durch diesen Punkt gehenden magnetischen Curve in die gegebene Oberfläche fallen, und hieraus ist wieder leicht zu entnehmen, dass in dem Falle des Gleichgewichtes der vollkommen biegsame Leiter *der geometrische Ort derjenigen Punkte ist, in welchen das Element der durch dieselben gehenden magnetischen Curven in die gegebene Oberfläche fällt.* Dieser geometrische Ort, der mit der Lage der gegebenen Oberfläche gegen den Magneten Form und Lage ändert, ist also der *einzige* Weg, den der Strom auf

der gegebenen Oberfläche einschlagen kann, und er schlägt diesen Weg nur dann ein, wenn seine Endpunkte, die wir als fest betrachten, *beide auf dem eben bestimmten geometrischen Orte liegen*. Diesen können wir passend *epibolisch-magnetische* Curve nennen. Vor und nach einer Commutation, sowohl der magnetischen Polarität als auch der Stromrichtung, würde ein Strom auf derselben Strecke zwischen den beiden gegebenen Punkten einmal gegen die Oberfläche gedrückt, das andere Mal von der Oberfläche fortgezogen werden. Nur in dem ersten Falle giebt es einen eigentlichen Strom. In dem zweiten Falle, so wie in dem allgemeinen Falle, dass die Stromenden *nicht* Punkte der bezeichneten Curve sind, verhindert der Magnet die Bildung eines Stromes.*)

80) Bei der theoretischen Discussion des Gesetzes I. treten uns drei Fälle entgegen, die wir auch in dem Experimente wiederfinden.

1. Die elektrische Entladung findet zwischen zwei gegebenen festen Punkten statt. Das ist der Fall des Davy'schen Bogens zwischen Kohlenspitzen, die sich anfänglich berühren, und dann allmählig auseinandergezogen, in einer bestimmten Entfernung festgehalten werden.

*) In der Absicht, die von mir zuerst beobachtete Erscheinung des in magnetischen Curven sich zusammenziehenden elektrischen Lichtes in möglichst bezeichnender Weise zu veranschaulichen, fingirte ich vollkommen biegsame unendlich dünne magnetische Fäden (47 bis 49). Es ist bemerkenswerth, dass ein solcher Faden, wenn er in einem seiner Punkte festgehalten wird, ebenso wie ein linearer, vollkommen biegsamer, elektrischer Leiter, unter der Einwirkung des Magneten dann im Gleichgewichte sich befindet, wenn er die Form der durch den festgehaltenen Punkt bestimmten magnetischen Curve annimmt. In dem ersten Falle erkennt man sogleich die Kraft, welche dem magnetischen Faden von beliebiger Form und Lage die für den Fall des Gleichgewichtes erforderliche Form und Lage giebt. In dem zweiten Falle aber ist es anders. Wenn wir zum Beispiel bewegliche geradlinige Leiter von allen möglichen Richtungen betrachten, die alle von einem gegebenen Punkte als Strahlen ausgehen, und auf welche ein gegebener Pol wirkt, so können wir uns diese sämmtlichen Leiter auf Kegelflächen vertheilt denken, deren gemeinschaftliche Axe diejenige gerade Linie ist, welche den gegebenen Punkt mit dem gegebenen Pol verbindet. Alle solche Kegelflächen rotiren in stabiler Bewegung um ihre gemeinschaftliche Axe. Nehmen wir den Fall einer beliebigen magnetischen Einwirkung und dabei die Leiter unendlich klein, so rotiren diese alle in Kegelflächen, deren gemeinschaftliche Axe die Tangente der bezüglichen magnetischen Curve in dem gegebenen Punkte ist. Nur der nach dieser Curve selbst gerichtete Leiter bleibt in Ruhe, ohne dass die anderen Leiter in diese Lage getrieben würden. Die Schwierigkeit der Frage liegt darin, dass wir uns den elektrischen Strom nicht als bereits fertig, sondern erst als in der Bildung begriffen, denken müssen. Und wenn wir überhaupt auch über die Bildung eines Stromes keine bestimmte Anschauung haben, so wissen wir doch so viel, dass er unter der magnetischen Einwirkung nur nach der magnetischen Curve sich bilden kann.

Ohne störende Einwirkung ist der Weg der elektrischen Entladung, in der Luft wie im luftverdünnten Raume, diejenige gerade Linie, welche die beiden Kohlenspitzen, die auch durch beliebige Metalle ersetzt werden können, verbindet. Als Träger des Stromes sind, zum Theil wenigstens, mithinübergeführte glühende Partikel, die sich in dem Spectrum kundgeben, zu betrachten. In längeren Röhren, in welchen das Gas möglichst verdünnt ist, werden, wenn durch dieselben der Ruhmkorff'sche Apparat entladen wird, keine solche Partikel mehr übergeführt, und das verdünnte Gas *allein* ist Träger des Stromes; denn die bezüglichen Spectra charakterisiren das jedesmalige Gas, wie die Spectra des Davy'schen Bogens die Substanz der Elektroden charakteristisch nachweisen.

Unter der Einwirkung des Magneten nimmt der Davy'sche Lichtbogen *die Form einer magnetischen Curve an, wenn die Endpunkte der beiden Elcktroden gegen den Magneten eine solche Lage haben, dass sie zwei Punkte derselben magnetischen Curve sind.* Wenn die Endpunkte der beiden Elektroden in eine andere Lage gebracht werden, wo dies nicht mehr der Fall ist, so kann der Bogen nicht mehr fortbestehen; er muss zerreissen und giebt je nach der Dichtigkeit des umgebenden Gases die Erscheinung des sprühenden und zischenden oder des wogenden Lichtes.

Die früheren hierher gehörenden Versuche so vieler ausgezeichneter Physiker liegen mir nicht vollständig genug vor, um sie in dieser Beziehung discutiren zu können. Ich verweise daher einstweilen nur auf meine eigenen, in der dieser gegenwärtigen Abhandlung nachfolgenden neuen Mittheilung von Beobachtungen.*) Diese sind, mit Ausnahme einiger älteren, geradezu in der Absicht, das I. Gesetz zu verificiren, angestellt worden.

81) 2. Einer der beiden Endpunkte der elektrischen Entladung ist fest, und der zweite der blossen Bedingung unterworfen, dass er auf einer gegebenen Fläche von beliebiger Form liege. Diese Bedingungen sind vorhanden in dem merkwürdigen Verhalten desjenigen Lichtes, das ich magnetisches genannt habe, eben darum nur, weil es den Weg magnetischer Curven nimmt. Dieses Licht tritt in evacuirten Röhren an der negativen Elektrode auf und strahlt von jedem Punkte derselben nach allen Richtungen bis zur Wandung der diese Elektrode umgebenden Glasröhre, die hierbei von dem übergeführten Platin mehr oder weniger geschwärzt wird. Was aus diesem elektrischen Lichte

*) Welche in Heft IX. erscheinen werden. [Werke II, Abhandl. 35.]

wird, nachdem es die Wandung getroffen, ist eine Frage, die zu erörtern hier nicht die Stelle ist. Wenn die Elektrode bis auf einen einzigen Punkt isolirt ist, so ist es dieser einzige Punkt, von welchem die elektrische Entladung ausgeht, deren verschiedene Wege, Elementarströmen entsprechend, die einzelnen leuchtenden Strahlen sichtbar machen. (Für unsere Anschauung ist es gleichgültig, ob die Strahlen alle von dem festen Punkte aus oder nach demselben hin gehen.) Ein jeder solcher Elementarstrom kann, nach dem obigen Gesetze I, unter der Einwirkung des Magneten nur dann im Gleichgewichte sein, wenn er nach einer magnetischen Curve gebogen ist, und diese ist hier für alle Elementarströme dieselbe Curve und dadurch vollkommen bestimmt, dass sie durch den gegebenen festen Punkt geht. Das ganze von dem nicht isolirten Punkt ausgehende Licht zieht sich also in die durch denselben gehende magnetische Curve, die dadurch hell erleuchtet wird, zusammen. Der ganzen Reihe continuirlicher, elektrisches Licht ausstrahlender Punkte der *nicht* isolirten negativen Elektrode entspricht eine continuirliche, aus magnetischen Curven gebildete Lichtfläche.

Da die magnetischen Curven dieselben bleiben, wenn wir die magnetische Polarität commutiren, so stellt sich nach einer solchen Commutation genau die frühere Erscheinung wieder her.

Die schönen, von mir zuerst beobachteten und in diesen Annalen (Bd. 103, S. 97—106 und Bd. 104, S. 113—118) beschriebenen Erscheinungen, zu denen ähnliche, später von mir auch an der positiven Elektrode beobachtete, noch hinzukommen, sind hiermit also vollkommen erklärt.

82) 3. Die Entladung findet zwischen zwei gegebenen Flächen oder verschiedenen Theilen derselben gegebenen Fläche statt, so dass die elementaren Entladungsströme auf diesen Flächen innerhalb gewisser Grenzen sich ihren Anfangs- und Ausgangspunkt suchen können. Auch in diesem Falle war das Experiment der Theorie vorausgegangen. Die erste desfallsige Beobachtung machte ich an einem evacuirten Ellipsoïde, das den mittleren Theil einer Geissler'schen Röhre (63) bildete. Wenn es in äquatorialer Lage an die genäherten Halbanker angestossen wurde, bildete sich im Innern desselben, fern von den beiden Elektroden, ein gewölbeförmiger Bogen, der aus erleuchteten magnetischen Curven bestand. Nachdem die Aufmerksamkeit des Auges einmal auf diese Erscheinungen gerichtet war, nahm es sie auch unter anderen, sehr verschiedenen Verhältnissen wahr.

83) Es bleibt nur noch übrig, einige vorläufige Andeutungen über die Anwendung des Gesetzes II. zu machen, welches den einzigen mög-

lichen Weg, den die elektrische Entladung unter der Einwirkung des Magneten auf der inneren Wandung einer Glasröhre einschlagen kann, die epibolisch-magnetische Curve bestimmt. Nehmen wir beispielsweise an, die innere Wandung habe die Form eines dreiaxigen Ellipsoïds, und dieses liege mit seinem Mittelpunkte so oberhalb der Mitte zwischen den beiden horizontalen Halbankern, dass eine seiner drei Axen senkrecht ist, so gehört die Durchschnittsellipse in demjenigen Hauptschnitte desselben, der in die Aequatorialebene fällt, offenbar der fraglichen Curve an; denn jede magnetische Curve, welche von einem der beiden Halbanker zum anderen führt, schneidet die Aequatorialebene unter rechtem Winkel, so dass die Elemente derjenigen dieser Curven, die jene Ellipse schneiden, innerhalb der Oberfläche des Ellipsoïds liegen. Ein regelmässiger Strom ist nur dann möglich, wenn er in einem Punkte der Ellipse in das Ellipsoïd hinein, in einem anderen Punkte der Ellipse herausgeleitet wird. Dieser Strom beschreibt alsdann auf der Ellipse den einen oder den anderen Weg zwischen den beiden Punkten, je nachdem er die eine oder die andere Richtung hat. (Vergl. den Versuch der 11. Nummer.) Es ist eine secundäre Wirkung (die bei grösserer magnetischer Einwirkung immer stärker und sehr verschieden stark bei verschiedenem Inhalte der Röhren hervortritt), dass der nach dem Magneten hingezogene Strom in wogendes Licht sich auflöst. Diese Erscheinung ist dadurch bedingt, dass die dem dritten Falle des Gesetzes I. entsprechende Wirkung hinzutritt (82), und dadurch verschwindet das Unerklärliche (15). Wenn der Strom in irgend zwei Punkten, die nicht beide Punkte der fraglichen Ellipse sind, oder, was dasselbe heisst, die nicht beide in der Aequatorialebene sich befinden, ein- und ausgeleitet wird, so bildet im Allgemeinen sich kein Strom; nur in dem singulären Falle, dass beide Punkte derselben magnetischen Curve angehören, und der Bogen dieser Curve zwischen diesen Punkten ganz innerhalb des Ellipsoïds fällt, tritt der erste Fall des Gesetzes I. unmittelbar ein.

84) Ein zweites einfaches Beispiel bietet der Fall einer weiteren cylindrischen Röhre, die, 45° gegen die Aequatorialebene geneigt, horizontal auf die Halbanker aufgelegt wird. Dann besteht die epibolisch-magnetische Curve in ihrer Mitte aus zwei abgesonderten Spiralen, die, einzeln genommen, durch Ströme von entgegengesetzter Richtung hell erleuchtet werden.

85) Sehr schön, wenn auch nicht in demselben Glanze als bei der direkten Entladung, lassen sich die obigen Gesetze durch inducirte Ströme zur Anschauung bringen. Ich nahm zu diesem Ende, um nur

ein Beispiel hier schon anzuführen, eine blosse Glaskugel von etwa 80^{mm} Durchmesser, ohne Elektroden, in der nach der Evacuirung nur noch blosse Spuren eines Gases zurückgeblieben waren. Wenn die äussere Wandung dieser Kugel mit *einer* Elektrode des Ruhmkorff'schen Inductionsapparates in irgend einem Punkte berührt wird, so verbreitet sich durch die ganze Kugel von dem der berührten Stelle entsprechenden Punkte der inneren Glaswand aus ein diffuses Licht von der dem Gase eigenthümlichen Farbe. Dieses Licht zieht sich, wenn die Kugel auf die Mitte der einander genäherten Halbanker des Elektromagneten gelegt wird, nach derjenigen magnetischen Curve, welche durch den oben bestimmten Punkt geht, zu einem einzigen Lichtbogen zusammen. Auf dem Wege dieses Bogens findet eine doppelte elektrische Strömung von entgegengesetzter Richtung statt. Ist die berührende Elektrode die negative, so geht von der Berührungsstelle ein stärkerer positiver Strom aus; ein schwächerer kehrt auf demselben Wege zu ihr zurück. Ist die Elektrode die positive, so vertauschen die beiden Ströme ihre gegenseitige Stärke; der nach der Berührungsstelle hingehende positive Strom ist der stärkere. Wenn man die Kugel in beliebigen Punkten mit *beiden* Elektroden zugleich berührt, so treten die beiden Lichtbogen, wie sie den einzelnen Elektroden entsprechen, ohne einander sichtbar zu stören, anscheinend ganz unabhängig von einander gleichzeitig hervor. Nur wenn die beiden Elektroden die Kugel in zwei Punkten derselben magnetischen Curve berühren, vereinigen sich die beiden Lichtbogen in einen einzigen.

86) Wenn wir den Endpunkt einer Elektrode auf der Oberfläche der Kugel fortführen, so ändert der Lichtbogen fortwährend Form und Lage. Die Länge des Bogens vermindert sich, wenn wir uns hierbei der epibolisch-magnetischen Curve annähern. Von einem Punkte dieser Curve aus geht keine magnetische Curve ins Innere der Kugel hinein. Wird ein solcher Punkt selbst von der Elektrode berührt, so bleibt das Licht auf der inneren Fläche der Kugel, indem es sich zu zwei Strömen von ungleicher Stärke concentrirt, die von der Berührungsstelle aus auf der epibolischen Curve nach entgegengesetzter Richtung sich hinziehen. Diese Curve ist im vorliegenden Falle der in der Aequatorialebene liegende grösste Kugelkreis, der durch unendlich viele magnetische Curven auf der Kugelfläche rechtwinklig geschnitten wird. Neben diesem doppelten epibolischen Lichtstrom besteht ungestört der freie Lichtbogen im Innern der Kugel fort, welcher der gleichzeitig berührenden zweiten Elektrode entspricht. Nur wenn beide Elektroden die Kugel in Punkten der epibolisch magnetischen Curve berühren, vereinigen sich zwei epibolische Doppelströme in einen ein-

zigen Doppelstrom, der die Lichtintensität der beiden früheren in sich vereinigt.*)

*) Eine neue Reihe von mannigfaltigen Beobachtungen, auf die ich mich zum Theil schon bezogen habe, wird in Heft IX. nachfolgen. Eine solche war bereits für den Druck zusammengestellt, als die neuen Gesichtspunkte, die ich in der gegenwärtigen Abhandlung entwickelt habe, über mannigfaltige von mir zuerst beobachtete Erscheinungen plötzlich ein volles Licht verbreiteten. Dadurch wird eine neue Redaction eines Theiles der früheren Zusammenstellung nothwendig.

34.

Fortgesetzte Beobachtungen über die elektrische Entladung.

(Annalen der Physik und Chemie, Bd. 105, S. 67—84, 1858. Uebers. Phil. Magazine 18, S. 7—20, 1859.)

Ueber die Spectra der verschiedenen Gase, wenn durch dieselben bei starker Verdünnung die elektrische Entladung hindurchgeht.

88) Ich habe, wie ich glaube zuerst, mit Bestimmtheit ausgesprochen, dass die Lichterscheinung, welche die elektrische Entladung durch längere gasverdünnte Röhren begleitet, abgesehen von den besonderen Erscheinungen in der Nähe der beiden Elektroden einzig und allein durch die in der Röhre zurückgebliebenen Gasspuren bedingt wird, und dass, bei der Schönheit und der grossen Mannigfaltigkeit der Spectra für verschiedene Gase, diese Spectra ein neues charakteristisches Kennzeichen der Gase abgeben und bei einer etwaigen chemischen Veränderung des Gases die Natur dieser Veränderung sogleich erkennen lassen. Es schien mir eben hierin die Wichtigkeit des Gegenstandes zu liegen, und der Weg für neue physikalisch-chemische Untersuchungen angedeutet.

89) Ich finde meine Auffassungsweise, dass von einer Elektrode zur anderen keine Metalltheilchen übergeführt werden, durch Herrn Gassiot bestätigt.*) Es geht Metall nur von der einen Elektrode, der negativen, zu dem Theile der inneren Glaswandung, welcher dieselbe zunächst umgiebt, und diese Ueberführung findet statt, aus welchem Metalle auch die Elektrode bestehen mag. Die umgebende Glaswand wird durch die Ablagerung des ungemein fein zertheilten

*) The minute particles of platinum are deposited in a lateral direction from the negative wire, and consequently in a different manner from what is described as occurring in the voltaic arc (De la Rive „Electricity" vol. 11, p. 288), so that the luminous appearence of discharge from the induction machine can in no way arise from the emanation of particles of the metal. (Proceedings of the Royal Society [Vol. 9, S. 147], March 4, 1858.)

Metalls allmählig geschwärzt, und bei grösserer Dicke der Ablagerung bildet sich zuletzt ein schöner Metallspiegel. Bei geringerer Dicke erscheint Platin in Folge seiner grossen Zertheilung blau, dem feinzertheilten Golde Faraday's, in der einen Nüance, ganz ähnlich.*) Von übergeführtem Zink habe ich einen schönen Spiegel an dem einen Ende einer weiten Glasröhre, so weit die negative Zinkelektrode hineinreichte, gesehen. Dieser Spiegel schattirte sich an der Grenze des Undurchsichtigen nur durch Grau ab. *Wir könnten auf diesem Wege über die optischen Eigenschaften möglichst fein zertheilter Metalle eine neue Reihe von Versuchen machen.*

90) Um die unter den gewöhnlichen Verhältnissen unangenehme Schwärzung des Glases zu vermindern, können wir an die Stelle der gewöhnlich genommenen dünnen Drähte, die sich, wenn sie als negative Elektrode dienen, erwärmen und nach Umständen hell glühend werden, dickerer Drähte uns bedienen, die eine merkliche Erwärmung durch den Strom nicht erfahren. Die stärkere Ueberführung des Metalls der negativen Elektrode in dem Falle dünnerer Drähte hat ihren Grund, wie es scheint, theilweise auch in der grösseren Erwärmung und nicht allein darin, dass bei der kleineren Oberfläche der dünnen Elektrode die elektrischen Strömungen an derselben sich mehr concentriren.

Einen anderen Versuch, der Schwärzung des Glases vorzubeugen, machte Herr Geissler, indem er die negative Platinelektrode mit einem engen Glasröhrchen umgab, das noch eine kleine Strecke über das freie Drahtende hinaus in den weiteren Glascylinder hineinragte. Dann schwärzte sich nur die innere Wandung des dünnen Glasröhrchens, soweit die Elektrode reichte.

91) Dass das Metall in den gasverdünnten Röhren nicht der Träger der elektrischen Entladung und demnach die Ursache der Lichterscheinung ist, davon erhalten wir auch von anderer Seite her in der folgenden Beobachtung gewissermassen eine Bestätigung. Drei verschiedene Röhren von einer früher (63) beschriebenen Form wurden bezüglich mit *reinem Wasserstoffgas*, mit *Arsenwasserstoffgas* und mit *Antimonwasserstoffgas* gefüllt und dann so weit wie möglich evacuirt. Der Lichtstrom in dem engen Theile der Röhre gab in allen drei Fällen das charakteristische, auf den ersten Blick wiederzuerkennende Spectrum des Wasserstoffgases. Die beiden letztgenannten Gase hatten offenbar eine Zersetzung durch den elektrischen Strom erlitten: die durch diese Zersetzung sich ausscheidenden Metalle, Arsen und Antimon, lassen sich in dem Lichtstrome nicht mehr wiederfinden.

---

*) Experimental Relations of Gold to light. Phil. Transactions 1857, p. 145.

92) Bevor wir zur Analyse des Lichtes der verschiedenen Gas-Vacua übergehen, bedarf die Frage noch einer kurzen Erörterung, ob das absolute Vacuum dem elektrischen Strome den Durchgang verwehre, und demnach in demselben zugleich mit dem Aufhören des Stromes auch das Licht erlösche. Ein absolut leerer Raum ist eine Fiction wie ein mathematisches Pendel, und die praktische Frage ist nur, ob wir in der Annäherung an ein solches Vacuum so weit gehen können, dass durch das angenäherte Vacuum keine elektrische Entladung mehr hindurchgeht. Das Torricelli'sche Vacuum und namentlich dasjenige in solchen von Herrn Casella für Herrn Gassiot angefertigten Röhren, welche die breiten Lichtwolken geben, ist offenbar vollkommener als das Gasvacuum in den verschiedenen Geissler'schen Röhren, das mit Hülfe einer Quecksilberpumpe dargestellt wird, und wobei eine Spannung von weniger als 1^{mm} wohl nicht erreicht werden möchte. Auf meine Veranlassung hat Herr Geissler neuerdings auch seinerseits wieder in längeren und weiteren Röhren mit Sorgfalt Torricelli'sche Luftvacua dargestellt. Die besten dieser Röhren lassen die directe Entladung des Ruhmkorff'schen Apparates anfänglich mit weissem Lichte zwar durch, die Entladung wird aber bald eine intermittirende und hört nach ein oder zwei Minuten ganz auf. Wenn man nach Analogie eines früher beschriebenen Versuches (73) sich eine Ansicht über den Vorgang in einer solchen Röhre zu bilden berechtigt ist, so müsste man annehmen, dass das Sauerstoffgas der unmessbar kleinen Menge von Luft, die zurückgeblieben ist, zur Elektrode gehe, und das übrigbleibende Stickgas nicht mehr hinreiche, um Träger des Stromes zu sein.

Ich theile die Ansicht, dass zur Bildung des elektrischen Stromes ponderable Materie erforderlich ist; diese ist aber im Allgemeinen nicht, wie theilweise wenigstens beim Davy'schen Lichtbogen, in feinster Zertheilung übergeführtes Metall oder Kohle, sondern irgend ein Gas.*)

*) Die Ueberführung der Materie der Elektroden im Lichtbogen von einer derselben zur anderen ist seit Davy Gegenstand vielfacher Untersuchungen gewesen. Die allgemeine Annahme war, dass diese Ueberführung von der positiven zur negativen Elektrode statthabe. Herr v. Breda wies aber nach, dass dieselbe gleichzeitig auch den umgekehrten Weg, von der negativen zur positiven Elektrode, nehme. In den Geissler'schen Röhren gehen die Metalltheilchen lediglich von der negativen Elektrode aus, ohne zur positiven zu gelangen. Hier scheinen Anomalien obzuwalten, denen ähnlich, die sich auf das Auftreten der Wärme an den beiden Elektroden beziehen (46). Versuche, die ich in neuester Zeit über die Entstehung des Lichtbogens in evacuirten Glaskugeln (unter der Einwirkung des Magneten) angestellt habe, und die ihre Stelle erst in der nächsten

93) (Ich schalte hier noch eine Beobachtung ein, welche an einer jener Torricelli'schen Vacuumsröhren gemacht wurde. Nahe an ihren beiden Enden wurden Stanniolbelege angebracht, um inducirte Ströme durch dieselbe hindurchzuleiten. (Vergleiche später 118.) Nachdem der directe Strom nicht mehr durch die Röhre ging, liess sich der inducirte Strom noch fortwährend hindurchleiten, ohne während längerer Zeit an Helligkeit zu verlieren. Als darauf die Drahtenden des Ruhmkorff'schen Apparates mit den beiden an den Enden der Röhre eingeschmolzenen Platindrähten wieder verbunden wurden, ging der directe Strom von Neuem hindurch, um jedoch bald wiederum zu erlöschen. Dasselbe Experiment konnte man beliebig oft wiederholen.)

94) Die meisten Gase erleiden in den Geissler'schen Röhren, wenn der Strom hindurchgeht, Veränderungen, die sich schon durch die gleichzeitige Veränderung der Farbe dem Auge unmittelbar kund geben. Diese Veränderungen sind oft plötzliche, namentlich dann, wenn der Strom durch den Magneten concentrirt wird; oft finden sie ganz allmählig statt. Dabei erleidet das Gas eine Zersetzung, oder das Gas selbst oder Bestandtheile desselben — es ist nicht zu vergessen, dass es sich hierbei nur um unmessbare Spuren handelt — gehen mit der Elektrode Verbindungen ein. Ich führe in dieser Beziehung ein merkwürdiges Beispiel an. Herr Geissler hatte beobachtet, dass Röhren, die Spuren von schwefliger Säure enthielten, durch den elektrischen Strom sich in merkwürdiger Weise änderten. Ich hatte früher schon gesehen, wie ein wahrscheinlich weniger vollkommenes Vacuum derselben Säure, als der elektrische Strom unter der Einwirkung des Magneten hindurchging, sich plötzlich änderte (16). Hier war die Aenderung eine continuirliche und langsame, Die neue von mir beobachtete Röhre war 400^{mm} lang und 25^{mm} weit. Sie zeigte ursprünglich feine schöne Schichtung in violettem Lichte, von den übrigen bekannten Erscheinungen begleitet. Während der Ruhmkorff'sche Apparat mehrere Minuten lang durch die Röhre entladen wurde, entfärbte sich allmählig das violette Licht, und die ganze Erscheinung änderte sich. Diese erhielt nach längerer Zeit ein stabiles Ansehen, indem die Röhre zuletzt sich gerade so verhielt, wie die schönsten Röhren des Herrn Gassiot (118): es hatte sich, nachdem die schweflige Säure vollständig verschwunden war, ein Torricelli'sches Luftvacuum, wenn dieser Ausdruck hier gestattet ist, gebildet. Das Licht um den negativen Pol war durch einen breiten dunkeln Raum von den weissen breiten Licht-

---

Mittheilung finden können, werden, wie ich glaube, Aufklärung über den fraglichen Gegenstand geben.

wolken getrennt. Diese erstreckten sich bis zu der positiven Elektrode, und jede derselben war hell weiss begrenzt nach der negativen Elektrode hin und nach der positiven hin in's Graue schattirt. Wenn die Röhre an ihrer dunklen Stelle nahe der negativen Elektrode mit einem schwachen Hufeisenmagneten berührt wird, so wird das System der weissen Wolken weiter in den dunklen Raum hineingezogen: eine schöne Erscheinung, die ich bei Herrn Gassiot gesehen hatte, die ich aber bis dahin an keiner der Geissler'schen Röhren beobachten konnte. Als ich diejenige Stelle der Röhre, wo die erste Wolke an den dunklen Raum grenzte, mit zwei Fingern berührte, wurden die sämmtlichen Wolken nach dem positiven Pole hin zurückgedrängt, also Abstossung, wo im früheren Falle Anziehung, und die ganze Erscheinung wurde stabiler. Dann hatte die Röhre das Aussehen der Fig. 14, Taf. III.

95) Derselbe Versuch gelang mit allen solchen Röhren, nur dass alle Röhren nach der Veränderung nicht mehr ganz dasselbe Aussehen hatten. Statt der zollbreiten weissen Wolken trat oft, wie es überhaupt bei dem Torricelli'schen Luftvacuum der Fall ist, eine viel engere Schichtung des weissen Lichtes auf, und in einem Falle war das Licht sogar röthlich, wie es dem Stickstoffgase entspricht, und wie ich es bei Herrn Gassiot allmählig werden sah, als er durch ein sinnreiches Mittel ganz allmählig Spuren von Luft hinzutreten liess. Es erscheint hiernach gewiss, dass in den verschiedenen Schwefligesäuregas-Vacua mehr oder weniger Luftspuren, am meisten in dem letztgenannten Falle, verblieben waren.

Wir haben vielleicht im schwefligsauren Gase, wenn wir dasselbe ganz luftfrei und vollkommen trocken anwenden, das beste Mittel, dem elektrischen Vacuum uns möglichst zu nähern.

96) Bemerkenswerth scheint mir noch die folgende Beobachtung. Als die Enden der cylindrischen Röhre, in welchen die Platinelektroden eingeschmolzen waren, über einer Spiritusflamme erwärmt wurden, stellte sich sogleich die ursprüngliche Erscheinung der schönen Schichtung im violetten Lichte wieder her. Die schweflige Säure hatte sich durch Wiedervereinigung ihrer Bestandtheile von Neuem gebildet. Diese hatten sich (vielleicht beide) mit Platin in wenig stabiler Weise verbunden und durch Einwirkung der Wärme von diesem wieder getrennt.

Der durchgehende Strom stellte hierauf die weisse Wolkenschichtung wieder her durch allmählige Zersetzung der schwefligen Säure. Sie konnte durch Erwärmung in gleicher Weise wie zuerst wieder hervorgerufen werden, und so stellte sich die doppelte Erscheinung alternirend einige Male wieder her, nahm dabei aber an Schönheit allmählig ab.

97) Nach dem Vorstehenden scheint mir als erwiesen zu betrachten, dass bei der elektrischen Entladung durch Röhren, die ursprünglich mit irgend einem Gase gefüllt waren und in Folge der Evacuirung nur noch Spuren dieses Gases enthalten, das diese Entladung begleitende Licht von dem Metalle der Elektroden ganz unabhängig ist, und andererseits im absolut leeren Raume keine Entladung stattfindet und demnach kein Licht auftritt. Somit gelangen wir zu dem Schlusse, dass das Licht des Entladungsstromes überhaupt und insbesondere das entsprechende Spectrum in solchen Gasvacua einzig und allein von den zurückgebliebenen Gasspuren bedingt und deshalb für das jedesmalige Gas charakteristisch ist. Für meine definitiven Bestimmungen wählte ich zuerst Wasserstoffgas, Stickstoffgas und Kohlensäure und erhielt für diese drei Gase vollkommen bestimmte, constante, von einander durchaus verschiedene Spectra. Es ist zwar unmöglich, in der Abbildung solcher Spectra die ursprünglichen Farben auch entfernt nur wiederzugeben, und das wird noch dadurch erschwert, dass einzelne Stellen der Spectra durch ihre Lichtintensität so ungemein stark hervortreten, aber für Denjenigen, der die Erscheinung nur einmal gesehen hat, ist in einer solchen ein treues Bild der Erscheinung niedergelegt, das vollkommen ausreicht, um in späteren Fällen einen Vergleich anstellen zu können.

98) Es kommt bei der bildlichen Darstellung ferner noch störend hinzu, dass die Umstände, welche überhaupt das subjektive Urtheil über Farbe bestimmen, sehr complicirter Art sind, und dass ein solches Urtheil dann namentlich alle Bedeutung verliert, wenn lichtärmere Stellen von hellen Farbentönen begrenzt werden. Der Eindruck, den viele der schönen Gasspectra auf das Auge machen, ist ein solcher, dass er mit dem Grundsatze der Farbenlehre in Widerspruch steht, — damit nämlich, dass die Farbe des Lichtes von der Wellenlänge abhängt, wonach für ein gegebenes Prisma gleich stark gebrochenes Licht unter *allen* Verhältnissen dieselbe Farbe haben muss. Ich führe in dieser Beziehung das bereits vorläufig beschriebene Spectrum des (unreinen?) Fluor-Borgases an (71), in dem schönes Violett auf einen Raum von grüner, freilich etwas verwaschener Farbe unmittelbar folgt. Wenn die blaue Farbe wirklich ganz fehlte, wie es bei anderen Gasen der Fall ist, so müsste das Violette nach der Seite des Rothen hin durch eine schwarze Stelle begrenzt sein. Es scheint am natürlichsten, anzunehmen, dass ein schwaches Blau in dem Spectrum vorhanden sei, dasselbe aber durch ein subjectives Gelb, die Complementärfarbe des anliegenden, besonders hellen Violetts, für das Auge in Grün sich verwandele. Immerhin aber erschien es mir wünschenswerth, durch einen

directen Versuch den obigen Grundsatz auch für unsere elektrischen Gasspectra zu bestätigen.

99) Zur Herstellung solcher Spectra überhaupt wandte ich das früher (69) bereits beschriebene Verfahren mit einigen Modificationen an. Der leuchtende elektrische Entladungsstrom wurde in Thermometerröhren concentrirt, deren innere Durchmesser für die verschiedenen untersuchten Gase wenig von einander abwichen und etwa 0,6^{mm} betrugen. (Ein in's Innere einer solchen Röhre gebrachter Quecksilberfaden von 155^{mm} wog 667,7 mgr., was für den inneren kreisförmigen Durchschnitt der Röhre jenen Durchmesser giebt.) Die Form der vollständigen einzelnen Gasröhre bezeichnet die Fig. 15, Taf. III, sowie auch die Art, wie solche Röhren paarweise (auf einem Brettchen) so verbunden werden können, dass die engen Theile beider (an den Stellen, wo sie um etwas mehr als 90° umgebogen sind) zusammenstossen und beide genau gleichgerichtet sind. (Der in der Figur zugefügte Glashahn bezieht sich auf einen späteren Versuch.) Bei der gleichzeitigen Durchleitung des Stromes durch ein solches System zweier verschiedener Gasröhren zeigt sich in den engen Theilen derselben ein geradliniger Lichtfaden, der nur in der Mitte unterbrochen ist und halb dem einen, halb dem anderen Gase entspricht. Wie verschieden die Spectra der beiden Gase auch sein mochten, ein Streifen von einer beliebigen Farbe in dem einen Spectrum setzte sich in dem anderen, wenn er in demselben nicht ganz erlosch, in gerader Linie fort, wobei im Allgemeinen seine Lichtstärke sich änderte.

100) Zur Beobachtung der Spectra bediente ich mich eines Fraunhofer'schen Fernrohres, das in einer Entfernung von 4 bis 5^{m} von der verticalen Lichtlinie in der Röhre aufgestellt war. Das Flintglas-Prisma, mit einem brechenden Winkel von 45°, war unmittelbar vor dem Objectiv, das 15 Pariser Linien Oeffnung hatte, befestigt. Die Vergrösserung durch das Ocular war so gewählt, dass eine stärkere Vergrösserung keine neuen feinen Linien mehr erkennen liess und nur die Lichtstärke verminderte.

Die in der vorigen Nummer beschriebene Zusammenstellung zweier Glasröhren hat noch eine zweite Anwendung. Richtet man nämlich das Fernrohr auf diejenige Stelle, wo die beiden engen Röhren zusammenstossen, so sieht man gleichzeitig die Spectra der beiden verschiedenen Gase und kann diese Spectra mit einander vergleichen und die gegenseitigen Dimensionen der einzelnen Theile derselben bestimmen. Das Spectrum des Wasserstoffgases scheint mir, seiner besonderen Beschaffenheit wegen, bisher als das geeignetste, um bei dieser Vergleichung als Anhaltspunkt zu dienen.

101) Die Röhren, die ich zuerst untersuchte, waren ursprünglich mit Wasserstoffgas, Stickgas und Kohlensäure gefüllt und gaben, so viel als möglich evacuirt, charakteristische, ganz und gar von einander verschiedene, schöne Spectra. Ich beschränke mich hier auf blosse Andeutungen über diese und die bisher beobachteten Spectra, eine genauere Beschreibung mit bildlicher Darstellung mir vorbehaltend.*)

102) Im Spectrum des *Wasserstoffgases* concentrirt sich fast das ganze Licht auf drei Streifen, einen blendend rothen am äussersten Ende des Spectrums, einen schönen grünlich blauen und endlich einen weniger hellen, violetten, dessen Abstand von dem grünlich blauen etwa ein Drittel weniger betrug als der Abstand dieses Streifens von dem blendend rothen. In der engen Röhre erscheint der elektrische Lichtstrom *roth*.

103) Im Spectrum des *Stickgases* sind alle Farben schön, keine derselben ist verwaschen, wie in den breiten Räumen, die zwischen den hellen Streifen des Wasserstoffspectrums liegen. In dem Raume des Rothen, Orange und Gelben finden sich 15 dunkelgraue feine Linien, in fast gleichem Abstande von einander. Von diesen kommen sechs auf Orange und Gelb. Diese beiden Farben sind schön; vom Orange an gerechnet ist das Rothe in's Braune schattirt, wird aber nach dem Ende des Spectrums hin, das sich über den blendend rothen Streifen des Wasserstoffgases hinauszieht, heller und reiner. Von dem Gelben ist ein breiterer grüner Raum durch einen schmalen schwarzen Streifen getrennt; der grössere Theil dieses Raumes erscheint von dem schwarzen Streifen an gerechnet schwarz schattirt. Für ein schärferes Auge löst sich indess diese Schattirung in sehr feine schwarze Linien auf, die wiederum gleich weit von einander abstehen, aber einander näher liegen, als die früher erwähnten Streifen im Rothen, Orange und Gelben. Der übrige grüne Raum ist noch mehrmals abgetheilt. An das Grüne stossen zwei schöne hellblaue Streifen, die unter einander und von dem Grünen durch schmale schwarze Streifen scharf begrenzt sind. Das blau- und rothviolette Ende des Spectrums bilden neun scharf begrenzte violette Streifen, die mit dunklen abwechseln. Jene haben verschiedene Helligkeit, diese erscheinen theils dunkel violett, theils schwarz. Der vierte und fünfte helle Streifen, durch einen schwarzen getrennt, haben das meiste Licht, die vier folgenden treten weniger hervor, jedoch der letzte, eine scharfe Grenze des ganzen Spectrums bildend, am meisten. Das Licht des Entladungsstromes in der engen Röhre ist *gelbroth*.

---

*) Bei der Aufnahme der verschiedenen Spectra haben mich die Studirenden Herr Liek und Herr Dronke unterstützt. [Vergl. Tafel VI—VIII, zu Abh. 41.]

104) In dem Spectrum der *Kohlensäure* (siehe die 115. Nummer) erscheint der helle Theil durch sechs scharf begrenzte helle Streifen in fünf Räume getheilt, von welchen die beiden ersten gleiche Breite haben, der dritte und namentlich die beiden letzten etwas breiter sind. Der erste der sechs Streifen befindet sich an der äussersten Grenze des Rothen, der zweite ist röthlich orange, der dritte grünlich gelb, der vierte grün, der fünfte blau und der letzte violett. Die zwei ersten Räume werden beide durch schmale schwarzgraue Streifen, von denen jedesmal zwei an den hellen Streifen anliegen, in drei gleich breite Unterabtheilungen getheilt. Der erste Raum ist braunroth, der zweite schmutzig orange und gelb. Der dritte und vierte Raum sind etwas verwaschen grün und durch Schattirungen mehrfach abgetheilt, der fünfte Raum ist ein ganz verwaschener und in zwei gleiche Theile getheilt, die von der rothen Seite her nach der violetten hin abschattirt sind. Nach dem zuletzt angeführten violetten Streifen kommt noch ein dunklerer Theil des Spectrums, so breit etwa wie der rothgelbe Theil desselben. In diesem dunkleren Theile werden durch drei scharf hervortretende violette Streifen, deren Breite von derselben Ordnung ist, als die Breite der früheren sechs Streifen, und von denen der letzte die sichtbare Grenze des Spectrums bildet, drei Räume bestimmt. Der erste dieser drei Räume, welcher an die obigen sechs hellen Streifen anstösst, ist etwas breiter als der dritte, beide sind absolut schwarz; der zweite mittlere Raum ist etwa so breit als diese beiden zusammen, und ganz dunkel violett.

Der erste Streifen, im ersten Augenblick besonders glänzend roth, verlor, nachdem der Strom längere Zeit durch die Röhre gegangen war, fast seine ganze Helligkeit (115).

Das Licht des galvanischen Stromes in der engen Röhre war *grünlich weiss*.

105) Nachdem die Spectra der drei genannten Gase genau bestimmt und aufgenommen worden waren, wurde die in der Figur 15 dargestellte Doppelröhre mit zwei verschiedenen Gasen, mit Kohlensäure und Wasserstoff, gefüllt und dann möglichst evacuirt. Die Gase, die ursprünglich von einander getrennt waren, konnten durch einen Hahn in Verbindung gesetzt werden. Dies geschah, während der Strom gleichzeitig durch beide Röhren hindurchging, durch die eine mit grünlich weissem, durch die andere mit rothem Lichte, und das Spectrum des einen Gases, der Kohlensäure, durch das Fernrohr mit dem Prisma beobachtet wurde. Gleich nachdem der Hahn geöffnet worden war, sah man eine blendend rothe Linie anfänglich bloss von Zeit zu Zeit an der Grenze des Spectrums aufflackern und bald nach-

her ihre Stelle behaupten. Es war dieses der rothe Streifen des Wasserstoffgases. Die Farbe des Lichtes in den beiden engen Röhren war dieselbe, die beiden Spectra waren constant und einander gleich geworden.

Wenn in einer Röhre überhaupt zwei verschiedene Gase mechanisch gemengt sind, so sieht man deutlich, wenn man die beiden Spectra der einzelnen Gase kennt, wie *die Spectra dieser Gase in dem Spectrum des gemengten Gases sich überlagern.*

106) Es wurde darauf eine einzelne Röhre mit *Ammoniakgas* gefüllt und evacuirt. Das Spectrum war augenfällig dasjenige, *das aus einer Ueberlagerung der beiden Spectra für Wasserstoffgas und Stickgas sich ergiebt. Das Ammoniakgas war augenblicklich in seine Bestandtheile zerfallen, es war nicht möglich gewesen, das Spectrum des zusammengesetzten Gases zu erhalten.*

107) Vor Allem musste nun die Bestimmung und Aufnahme des *Sauerstoff*-Spectrums wünschenswerth erscheinen. Aber hierbei stiess ich auf neue und unerwartete Schwierigkeiten, so dass es mir bis jetzt noch nicht gelungen, eine vollständige Anschauung von diesem Spectrum zu gewinnen. Darum beschränke ich mich einstweilen darauf, hier nur zweier schmaler, glänzender Streifen zu erwähnen, von welchen der eine die Grenze des Spectrums bildet, und der andere schon in das Orange spielt. Der Raum zwischen den beiden Streifen ist dunkel braun. Die rothe Grenze des Sauerstoffspectrums reicht etwas über diejenige des Wasserstoff-Spectrums hinaus, wonach denn auch die blendend hellen Grenzstreifen nicht zusammenfallen.

Die oben erwähnte Schwierigkeit in der Feststellung des Spectrums für Sauerstoff liegt aber in dem langsamen Verschwinden des freien Gases, das sich mit dem Platin der negativen Elektrode verbindet. Dass eine solche Verbindung wirklich stattfindet, ist nicht nur aus der Veränderung des Spectrums abzuleiten, sondern folgt unmittelbar schon daraus, dass das gebildete *Platinoxyd* fein zertheilt und mit rothgelber Farbe auf die umgebende innere Glaswand sich absetzt, wobei es zugleich im reflectirten Lichte in schöner Weise die Farben der Newton'schen Ringe zeigt, während, wenn die Röhre Spuren von Wasserstoffgas oder Stickgas enthält, das *rein metallische Platin* zur Glaswand übergeführt wird.

108) Die Farbe des elektrischen Lichtstromes in der engen Röhre war anfänglich roth, ging aber durch das Fleischfarbige ins Grüne, und dann durchs Blaue ins röthlich Violette über.

Es würde von ganz besonderem Interesse sein, durch eine sorgfältige Beobachtung des Sauerstoff-Spectrums festzustellen, in welcher Aufeinanderfolge die einzelnen prismatischen Farben verschwinden, während der elektrische Lichtstrom aus dem Grunde langsam erlischt, dass er beim allmähligen Fortgehen des Sauerstoffgases keine hinreichende Menge von ponderabler Materie mehr findet, die ihm als Träger dienen könnte. Die obige Farbenscale, die das Licht in der engen Röhre durchmacht, scheint uns zu dem Schlusse zu berechtigen, dass zuerst die *weniger brechbaren* Strahlen wegfallen, und allerdings sieht man auch zuerst die beiden glänzend rothen Streifen des Spectrums erblassen und vielleicht ganz verschwinden. Um aber die Erscheinung vollständig zu beobachten, müssen ganz besondere Vorsichtsmassregeln genommen werden, um das Sauerstoffgas absolut rein zu erhalten.

109) Denn wenn auch nur die kleinste Menge von einem anderen Gase dem Sauerstoffgase beigemengt ist, so wird sich das beigemengte Gas in demselben Maasse mehr in dem Spectrum des Sauerstoffgases geltend machen, als das letztgenannte Gas fortgeht. Aus diesem Grunde mussten zwei Röhren als unbrauchbar zu definitiven Bestimmungen verworfen werden: in beiden konnte man die Art des beigemengten Gases mit Bestimmtheit angeben. In dem ersten Falle, auf den die obigen Angaben sich beziehen, trat das oben beschriebene Spectrum der Kohlensäure immer mehr hervor und, wie befremdend dies auch anfänglich erscheinen mochte, die befriedigende Erklärung fand sich bald darin, dass durch denselben Evacuirungsapparat (vermittelst Quecksilber) unmittelbar vorher Kohlenoxydgas (was hier, nach (115), der Kohlensäure gleichkommt) evacuirt worden war. In der zweiten Röhre machte sich das Spectrum des Stickstoffgases kenntlich; auch sie musste verworfen werden, weil dem Sauerstoffgase offenbar Luft beigemengt war.

110) Ich habe bereits früher (73) in dem Erlöschen des elektrischen Stromes im Sauerstoffgase einen Beweis dafür gesehen, dass im absolut leeren Raum, den wir nur mehr oder weniger annähernd darstellen können, kein Strom bestehen kann. Wir können hier nur noch hinzufügen, dass ein elektrischer Strom im luftleeren Raume jedenfalls nicht leuchtend sein kann; denn, wenn dieses der Fall wäre, so müsste das *Spectrum des leeren Raumes* in den verschiedenen Gasspectra sich wiederfinden. Diese Spectra haben aber nichts Gemeinsames.

111) Es wurde hierauf versucht, das Spectrum des *Stickoxydgases* zu bestimmen. Aber vergeblich; eine Stickoxydröhre gab das Spec-

trum des Stickgases selbst mit einer Modification, die offenbar reinem Sauerstoffgase zuzuschreiben war, und die sich namentlich durch einen glänzenden Streifen nahe am Ende des Rothen und darin kundgab, dass das bräunliche Roth an der Grenze des Orange ein helles Roth wurde. Die feinen charakteristischen Linien im Rothen, Orange und Gelben behielten ihre ganze Schärfe; nur die äussersten, welche der helle Streifen theilweise überlagerte, waren verschwunden, so dass von solchen Linien zwischen dem hinzugetretenen hellen Streifen und der Grenze des Orange nur noch sechs übrig blieben. Allmählig erlosch der glänzend rothe Streifen, und es stellte sich im Ganzen das reine Stickgas-Spectrum her mit einer Pracht, in der ich es bis dahin nicht gesehen hatte.

Das Stickoxydgas in einer Menge, die kaum durch die empfindlichste Waage nachgewiesen werden konnte, war chemisch analysirt. Es zerfiel beim Durchgehen des Stromes augenblicklich in seine Bestandtheile, Stickgas und Sauerstoffgas, und letzteres verschwand, indem es allmählich mit dem Platin der negativen Elektrode zu Oxyd sich verband.

112) Es konnte hiernach kaum zweifelhaft erscheinen, dass auch die weniger stabilen, höheren Oxydationsstufen des Stickgases unmittelbar in ihre einfachen Bestandtheile zerfallen würden. Es wurde zur Bestätigung eine Röhre mit *salpetriger Säure*, die durch eine Mischung von Stickoxydgas und Sauerstoffgas in bekannter Proportion hergestellt worden war, gefüllt und dann evacuirt. Das Spectrum war dasselbe wie in dem Falle der Stickoxydgasröhre, nur dass der rothe Sauerstoffstreifen anfänglich noch glänzender auftrat.

113) Ein weiterer Versuch zeigte, dass auch Stickoxydulgas augenblicklich in seine einfachen Bestandtheile zerfällt. Der Sauerstoffstreifen war weniger hell.

114) Hierauf wurde *Wasserdampf* untersucht. Herr Geissler stellte mit seiner bekannten Kunstfertigkeit die schöne Röhre in folgender Weise her. An dieselbe wurden noch zwei grössere Kugeln, von denen die eine mit einem Hahne nach Aussen hin versehen war, angeschmolzen. Die Röhre wurde mit Wasser gefüllt und dieses so lange gekocht, bis nur noch Wasserdampf und keine Spur von Luft mehr in derselben war, und dann der bisher geöffnete Hahn geschlossen. Die Röhre wurde über einer Spirituslampe stark erhitzt, während die Kugel mit dem Hahne in einer Kältemischung sich befand, und dann wurde diese Kugel mit dem Hahne abgeblasen. Dieselbe Operation wurde wiederholt, indem die zweite Kugel, die, während die Röhre er-

hitzt wurde, in der Kältemischung sich befand, abgeblasen wurde. Der elektrische Strom in der feinen Röhre zeigte das schönste gesättigte Roth. Das Spectrum war das des reinen Wasserstoffgases mit seinen drei hervortretenden Streifen, gegen deren Glanz alles Uebrige so in den Hintergrund zurücktrat, dass hier die Abschattirungen von Farbe und Lichtstärke nur kaum bemerkbar waren. Der Wasserdampf war in seine einfachen Bestandtheile zerfallen, aber zu meinem Bedauern hatte Herr Geissler den Strom bereits früher schon durchgeleitet; der eine derselben, Sauerstoffgas, war bereits durch seine Verbindung mit der negativen Platinelektrode verschwunden.

115) Nach den vorstehenden Versuchen musste es sehr zweifelhaft erscheinen, ob das früher beschriebene Spectrum der Kohlensäure wirklich dieser Säure in ihrem unzersetzten Zustande angehörte. Die Säure konnte nicht in ihre einfachen Bestandtheile zerfallen sein, denn sonst hätten wir das Spectrum des Sauerstoffgases erhalten müssen, während das Minimum fester Kohle sich, vielleicht nicht bemerkbar, an die innere Glaswandung abgesetzt haben würde. Es blieb daher nur die Alternative übrig, ob die Säure unzersetzt geblieben oder in Kohlenoxyd und Sauerstoff zerfallen war. Gegen erstere Annahme sprach der Umstand, dass eine Ablagerung von Platinoxyd bemerkbar war (107). Durch die Bestimmung des Spectrums des *Kohlenoxyds* wurden alle Zweifel gelöst. Dieses Spectrum war dasjenige, in welches namentlich durch Verminderung des Glanzes des äussersten Roths das Spectrum der Kohlensäure nach kurzer Zeit überging. Das direct oder, durch Fortgehen des freien Sauerstoffgases, indirect erhaltene Spectrum des Kohlenoxydgases ist seinerseits auch nicht constant, obgleich es sich nur sehr langsam ändert. Während Platinoxyd sich absetzt, verschwindet das weniger brechbare Licht aus dem Spectrum (104). Durch das langsame Fortgehen des Sauerstoffs nähert sich das Innere der Röhre einem Vacuum.

116) Die merkwürdige Analogie in dem chemischen Verhalten von Jod, Brom und Chlor findet sich auch in ihren Spectra wieder.*) Ich gehe in eine Beschreibung dieser Spectra hier noch nicht ein, weil die Art, wie die Röhren bisher hergestellt wurden, eine vollständige Ausschliessung der Luft nicht gestattete und die erhaltenen Spectra daher nicht rein, sondern eine Ueberlagerung zweier Spectra waren. Ueberdiess verbinden sich während des Stromdurchganges die genannten

*) Auch die Einwirkung des Magneten auf Chlor, Brom- und Joddampf, wie ich sie bereits schon angedeutet (17, 59) habe, ist für dieselben charakteristisch. Ich werde später auf diesen Punkt zurückkommen.

Substanzen mit dem Platin der negativen Elektrode. Das Jodspectrum dauerte so lange, dass es aufgenommen werden könnte. Vier Bromröhren mussten nach einander angewendet werden; durch jede derselben wurde nur ein einzelner Theil des Spectrums bestimmt, und das ganze Spectrum aus den vier einzelnen Theilen desselben zusammengesetzt. Das Spectrum des Chlors war von kurzer Dauer, so dass man es zwar deutlich sah, aber nicht aufnehmen konnte. Das Gemeinsame der drei Spectra, wodurch sie, soweit bisher die Beobachtungen reichen, von allen übrigen Gasspectra sich charakteristisch unterscheiden, besteht in *Lichtlinien*, anfänglich ruhig, später bloss durchblitzend, deren Breite von derselben Ordnung ist als die Breite der feinen Fraunhofer'schen schwarzen Linien. Im Jodspectrum ist die Stelle von fünf solchen feinen Lichtlinien von grösster Lichtintensität im Grünen bestimmt worden, zwei derselben liegen einander sehr nahe. Das Bromspectrum gab eine grössere Anzahl solcher Linien, die sich über mehrere der mittleren Farbenräume verbreiteten, zugleich mit *schwarzen* Linien, ganz den Fraunhofer'schen ähnlich. Im Chlor-Spectrum scheint noch eine grössere Anzahl von solchen feinen Linien, schwarzen sowohl als hellen, aufzutreten, deren Lage aber bisher noch nicht bestimmt werden konnte.

117) Die bisher gewonnenen chemischen Resultate können wir kurz in dem Folgenden zusammenfassen.

I. Gewisse Gase (Sauerstoff, Chlor, Brom- und Joddampf) verbinden sich mehr oder weniger langsam mit dem Platin der negativen Elektrode, und die resultirenden Verbindungen lagern sich auf die umgebende Glaswandung ab. Wir nähern uns dabei, wenn die Gase rein sind, einem absoluten Vacuum.

II. Gase, die aus zwei einfachen Gasen zusammengesetzt sind (Wasserdampf, Ammoniakgas, Stickoxydul, Stickoxyd, salpetrige Säure), fallen augenblicklich in ihre einfachen Bestandtheile auseinander und bleiben dann unverändert, wenn diese (Ammoniakgas) sich nicht mit dem Platin verbinden. Ist einer derselben Sauerstoffgas (im Wasserdampf und den verschiedenen Oxydationsstufen des Stickstoffs), so verschwindet dieses allmählig, und bloss das andere Gas bleibt.

III. Wenn die Gase aus Sauerstoff und einer festen einfachen Substanz zusammengesetzt sind, so findet die vollständige Zersetzung durch den Strom nur langsam statt, indem das Sauerstoffgas zu dem Platin der negativen Elektrode geht (schweflige Säure, Kohlenoxydgas, Kohlensäure). Kohlensäure zerfällt zunächst augenblicklich in die niedere, ebenfalls gasförmige Oxydationsstufe und in freies Sauerstoffgas, das allmählig zum Platin geht (I). Das Kohlenoxydgas wird lang-

sam dadurch zersetzt, dass der mit Kohle verbundene Sauerstoff mit der negativen Elektrode sich verbindet.*)

---

*) Ich habe bereits früher schon, um eine vorläufige Idee von Gasspectra zu geben, zwei solcher Spectra beschrieben (70, 71). Das erste derselben zeigte eine nicht sehr enge Wasserstoffgasröhre, die zu den ersten gehörte, welche Herr Geissler angefertigt hat. Ich wählte dasselbe seiner Einfachheit wegen aus, dasselbe gehört aber nicht dem *reinen* Wasserstoffgase an, was man nun auf den ersten Blick erkennt. Das zweite beschriebene schöne Spectrum, das als dem Fluor-Borgase angehörig bezeichnet ist, gehört wahrscheinlich eben so wenig dem *reinen* Gase an, wir können mit Rücksicht auf den weniger brechbaren Theil desselben mit seinen feinen grauen Linien mit ziemlicher Gewissheit annehmen, dass dem Gase Stickgas (Luft) beigemengt war.

35.

Fortgesetzte Beobachtungen über die elektrische Entladung in gasverdünnten Räumen.

(Annalen der Physik und Chemie, Bd. 107, S. 77—113. 1859.)

In sich zurückkehrende elektrische Lichtströmungen.

118) Nachdem seit Grove's erster Beobachtung*) die prächtige Erscheinung des geschichteten Lichtes in dem directen elektrischen Entladungsstrome im gasverdünnten Raume die allgemeine Aufmerksamkeit der Physiker auf sich gezogen hat und unter verschiedenen Gesichtspunkten weiter verfolgt worden ist, hat neuerdings Herr Gassiot zuerst die Beobachtung gemacht, dass die Lichtschichtung auch dann in ihrer ganzen Schönheit sich zeigt, wenn man, statt den directen Strom durch eine evacuirte Glasröhre zu leiten, im Innern derselben Inductionsströme erregt. Eine für diesen Zweck angefertigte Röhre verdanke ich der Güte des Herrn Gassiot selbst, der mir in freundlichster Weise die schönen Erscheinungen seiner nach grossartigem Maasstabe construirten Apparate zeigte; insbesondere auch die Lichtstratification im fraglichen Inductionsstrome und die Theilung desselben durch einen Elektromagneten.**) In dieser letzten Erscheinung er-

*) In meiner ersten Abhandlung habe ich mir eine wesentliche Auslassung zu Schulden kommen lassen, die ich hier bei der ersten Gelegenheit, die sich darbietet, redressire. Herr Grove ist nämlich der Erste, welcher die dunklen Streifen im elektrischen Lichtstrome beobachtet hat, indem er den Ruhmkorff'schen Apparat unter dem Recipienten der Luftpumpe, wo Phosphor der freien Verdampfung überlassen war, entlud (*Transactions of the Roy. Soc. of London Part I*, 1852 und *Phil. Mag.* [(4) IV., S. 514] Dec. 1852). Die Beobachtungen der Herren Ruhmkorff und Quet sind späteren Datums.

**) In den *Proceedings of the Roy. Soc. (Vol. 9, S. 149, 150; March 4, 1858)* findet sich darüber das Folgende: „*If instead of sealed wires, tin-foil coatings are placed on the vacuum tube and the coatings are attached to the terminals of the induction apparatus, brilliant stratifications immediately appear in the portion of the*

blickte ich sogleich die Ablenkung des gewöhnlichen (directen) Entladungsstromes, die ich früher ausführlich beschrieben habe, *zwiefach* auftreten, dem entsprechend, dass durch die evacuirte Röhre zwei entgegengesetzte Ströme hindurchgingen. Die wirkliche Existenz zweier entgegengesetzter Ströme in dem inducirten Entladungsstrome war für mich um so mehr erwiesen, als ich bereits früher schon die Erscheinung eines solchen, schöne Lichtschichtung zeigenden Doppelstromes, der in gleicher Weise durch den Magnet in zwei einander gleiche Ströme getheilt wird, selbst beobachtet und beschrieben hatte (61). In dieser beschriebenen Erscheinung war es ein einziger abgezweigter Entladungsstrom, der seinen Weg nach dem geschlossenen Ende einer evacuirten Röhre nahm und dann auf seinen eigenen Weg wieder zurückkam. Hierbei gelangte die Strömung *derselben* elektrischen Entladung bei ihrem Hin- und Hergehen in zwei verschiedenen Momenten in demselben Querschnitte der Röhre an. Wie unendlich klein aber die Zeitdauer ist, welche zwischen diesen beiden Momenten liegt, mögen wir aus der Länge der zurückgelegten Wegstrecke und der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des elektrischen Stromes ermessen. Die beiden Ströme stören sich auf ihrem Wege offenbar darum nicht, weil sie nicht absolut momentan sind. Und so halte ich auch die beiden entgegengesetzten inducirten Entladungsströme in der Gassiot'schen Röhre, über deren Natur später zu beschreibende Versuche Aufschluss geben werden (124 bis 127), für *nicht momentane* Ströme.

119) Herr Gassiot hat die Nichtinterferenz zweier elektrischen Lichtströmungen, die denselben oder entgegengesetzten Weg gehen, durch directe Versuche nachgewiesen. Er bediente sich zu diesem Zwecke einer mehrere Fuss langen und etwa einen englischen Zoll weiten evacuirten Glasröhre, die nahe an jedem ihrer beiden Enden zwei eingeschmolzene isolirte Platin-Elektroden hatte, vermittelst deren man durch die Röhre hindurch gleichzeitig zwei verschiedene Inductionsapparate in gleicher oder entgegengesetzter Richtung entladen konnte. Ich war meinerseits bei der Erörterung der Frage, ob zwei verschiedene Entladungsströme irgend eine Wirkung auf einander ausübten, derjenigen Wirkung analog, die bei zwei Strömen, die an Leitungsdrähte gebunden sind, beobachtet wird, früher schon zu dem gleichen negativen Resultate gelangt. Namentlich leitete ich die Entladung desselben Ruhmkorff'schen Apparates gleichzeitig durch zwei

vacuum between the coatings. On approaching a powerful magnet, the stratifications divide into two equal series, in which the bands or strata are concave in opposite directions.“ „The character of these two forms of electrical discharge (the direct and the induced discharge) can always be determined by the magnet.“

Geissler'sche Röhren, die, in der Mitte sich durchdringend, zu einem Kreuze verbunden waren, ohne zu bemerken, dass die getheilten Ströme sich irgendwie störten.

120) Sobald sich die Gelegenheit dazu bot, unterwarf ich den inducirten Doppelstrom in der Gassiot'schen Röhre einer vollständigen Analyse durch den grossen Elektromagnet, zu dessen Erregung ich wie gewöhnlich sechs Grove'sche Elemente anwandte. Die Röhre ist 87^{cm} lang, 26^{mm} dick und an ihren Enden in Spitzen ausgezogen. Die beiden Platin-Elektroden sind etwa 30^{mm} von jedem Ende seitwärts eingeschmolzen. Zwischen den beiden Elektroden befinden sich zwei verschiebbare, 60^{mm} breite Stanniolbelege, welche die Röhre umgeben. Wenn einerseits die beiden Drahtenden des Ruhmkorff'schen Apparates mit den beiden Elektroden verbunden wurden, so gab die Röhre die Erscheinungen des direkten elektrischen Lichtstromes; wenn andererseits, wobei die Elektroden als nicht vorhanden betrachtet werden können, die beiden Drahtenden mit den Stanniolbelegen in Berührung gebracht wurden, so trat der inducirte Doppelstrom mit seiner schönen Lichtschichtung auf.

Es wurden die beiden schweren Halbanker so auf die beiden Pole des grossen Elektromagneten gelegt, dass dieselben mit ihren abgerundeten Enden einander zugekehrt waren, und auf diese Anker die Röhre zunächst in *äquatorialer* Lage. Unter der magnetischen Einwirkung concentrirte sich das geschichtete Licht, welches den ganzen Raum der weiten Röhre zwischen den von einander so weit als möglich entfernten Stanniolbelegen ausfüllte, oberhalb der Pole in einer Strecke von mehr als 30^{cm} in zwei intensive Ströme von weissem Lichte. Diese getrennten Ströme legten sich an den obersten und untersten Theil der inneren Wandung der Röhre an. Die Trennung der beiden Ströme fand auch dann noch statt, wenn die Röhre ohne Aenderung ihrer Richtung bedeutend, etwa bis 25^{cm} über die Anker gehoben wurde. Nur bei einer starken magnetischen Erregung fand an der Stelle der grössten Wirkung ein Zerreissen des unteren Stromes statt; der obere Strom zeigte immer eine schöne feine Schichtung. Wenn die Röhre, ihre äquatoriale Richtung fortwährend beibehaltend, von der Mitte des Magneten aus auf einem der beiden Halbanker verschoben wurde, so neigte sich die Ebene, welche durch die beiden getrennten Ströme sich legen lässt, und die ursprünglich vertical war, immer mehr horizontal und neigte sich dann wieder, wenn die Wirkung des entfernteren Endes des Halbankers vorherrschend wurde, in entgegengesetztem Sinne.

121) Wenn die Röhre auf die beiden einander genäherten Halbanker so aufgelegt wird, dass sie einen Winkel von etwa 45^{0} mit der

Aequatorialebene bildet und oberhalb der Mitte zwischen den Halbankern hingeht, so werden in grösserer Entfernung von dieser Mitte, wo die Wirkung des einzelnen Halbankers überwiegt, die beiden Ströme in ähnlicher Weise wie vorher getrennt. Die beiden Theile ein und desselben Stromes, welche in einer horizontalen Ebene oberhalb der beiden Anker sich hinziehen, liegen auf den entgegengesetzten Seiten der durch die Axe der Röhre gehenden Verticalebene und werden oberhalb der Stelle der grössten magnetischen Wirkung durch eine schöne glänzende Spirale*) mit einander verbunden. Die an der inneren Wandung der Röhre sich hinziehenden Spiralen sind beide gleich gewunden, wie in dem Falle eines dickeren Seiles, das aus mehreren dünneren gewunden ist, zwei dieser dünneren Seile, die weiter von einander abstehen. Sie sind links oder rechts gewunden, je nachdem die Röhre auf der einen oder anderen Seite einen Winkel von 45° mit der Aequatorialebene macht. Die eine dieser beiden Spiralen hat ihren höchsten, die andere ihren tiefsten Punkt auf der durch die Mitte zwischen den beiden Halbankern gehenden Verticalebene. (Fig. 1, Taf. IV.)

Sowohl nach einer Commutation des Ruhmkorff'schen Apparates, als auch nach einer Commutation der magnetischen Polarität stellt sich die ursprüngliche Erscheinung genau wieder her. Bei der erstgenannten Commutation vertauscht sich die Stromrichtung in den unteren und oberen Spiralen, bei der zweiten geht der gleichgerichtete Strom von den einen Spiralen in die anderen über.

Die doppelte Spirale trat am reinsten hervor, als die Röhre etwas über die Fläche der Halbanker gehoben wurde. Durch die Abnahme der magnetischen Wirkung auf die untere Spirale fällt die Zerstreuung des Lichtes derselben fort, und das Verhältniss der Grösse dieser Wirkung auf die beiden Spiralen kommt dann der Gleichheit näher. Aus denselben Gründen sieht man die doppelten Spiralen am schönsten in etwas engeren Röhren. Sie treten auch in solchen Röhren auf, die nur wenige Millimeter weit sind.

122) In allen Erscheinungen der beiden vorigen Nummern erfolgt Alles *gleichzeitig*, gerade so, wie es vor und nach einer Commutation des Ruhmkorff'schen Apparates dann erfolgt sein würde, wenn ein und derselbe gewöhnliche und einfache Entladungsstrom bei gleicher Lage der Röhre der Einwirkung des Magneten ausgesetzt worden wäre.

Die beiden getrennten Ströme beschreiben auf der inneren Glaswandung die vollständige epibolische Curve oder die beiden geraden Linien, in welche dieselbe in dem ersten Falle sich auflöst (84). Diese

*) [Unter „Spirale" ist hier eine Schraubenlinie zu verstehen.]

geraden Linien sind dann den Elementarströmen parallel, die durch den ganzen Querschnitt der Röhre, sich einander nicht störend, hin und her gehen, und die Erscheinung würde in diesem Falle dieselbe sein, als wenn wir uns diese Ströme von unveränderlicher Form und beweglich denken.

123) Ueberhaupt die bemerkenswertheste Erscheinung entspricht dem Falle, dass die Röhre in *axialer* Richtung auf die beiden (2 bis 30^{mm} von einander abstehenden) Halbanker gelegt wird. Dann wird jeder der beiden entgegengesetzten Ströme in der durch die Axe der Röhre gehenden Horizontalebene abgelenkt, und die beiden Hälften desselben Stromes liegen auf beiden Seiten der axialen und verticalen Ebene. Was aber entsteht, wenn oberhalb der Stelle der grössten magnetischen Wirkung die Erscheinung, wie ich sie früher (14) für den einzelnen Strom beschrieben habe, gleichzeitig für die beiden entgegengesetzten Strömungen auftritt, und diese Strömungen sich auf ihrem Wege begegnen, darüber konnte nur der Versuch Aufschluss geben. [Vergl. Fig. 2, Taf. IV.]

Die beiden positiven Ströme laufen an der einen Seite der inneren Wandung der Röhre in feine Spitzen AB aus, die beide an ihren äussersten Enden sich herabsenken, während auf der anderen Seite das Auge einen continuirlichen Strom wahrzunehmen glaubt, der sich in der Nähe der Aequatorialebene am Glase etwas nach oben biegt. Dieser letzte anscheinend continuirliche Strom ist aber in der Wirklichkeit aus zweien zusammengesetzt, die von der Aequatorialebene aus nach entgegengesetzter Richtung verlaufen. Von den positiven, in Spitzen auslaufenden Stromhälften geht fluthendes Licht nach dem gegenüberliegenden Strome hin. Dieses überfluthende Licht nimmt bei grösserer Entfernung von der Aequatorialebene immer mehr an Intensität ab; es ist nach der Mitte hin, wo es am stärksten ist, von oben angesehen scharf begrenzt durch eine horizontale Curve von der Form eines Kreisbogens, der etwas grösser ist als ein Halbkreis, und dessen beide Endpunkte auf den beiden positiven Stromhälften, bevor diese in Spitzen auslaufen, aufstehen. Von der Seite her sieht man im Innern der Röhre oberhalb der durch die Axe derselben gehenden Aequatorialebene Licht in magnetischen Curven namentlich von einer Seite jener Begrenzung zur anderen übergehen; aber auch nach dem Magneten hin strömt Licht, die magnetischen Curven nach unten hin fortsetzend.

124) Wir erhalten einen Doppelstrom auch dann schon, wenn wir mit einem der beiden Drahtenden des Ruhmkorff'schen Apparates *einen einzigen der beiden Stanniolbelege berühren.* Dieser Doppelstrom

wird schöner, wenn wir gleichzeitig das entferntere Ende der Röhre mit der Erde in leitende Verbindung setzen, namentlich wenn wir den zweiten Stanniolbeleg beibehalten und mit der Hand anfassen. Dann füllt sich der Raum zwischen den beiden Belegen mit schön geschichtetem Lichte wie in dem Gassiot'schen Versuche, und der Magnet zeigt, dass dieses Licht einen elektrischen Doppelstrom bildet.

125) Die Entstehung dieses Doppelstromes findet die folgende Erklärung. Wenn wir mit dem einen Drahtende, für welches wir hier das positive nehmen wollen, den einen Stanniolbeleg berühren, so wird im Innern der Röhre an der entsprechenden Stelle die negative Elektricität festgehalten, die positive fortgetrieben und geht zunächst nach dem zweiten Stanniolbelege hin, wo sie ihrerseits nach Aussen hin inducirend wirkt und gewissermassen für einen Augenblick einen Ruhepunkt findet, dann aber, nach Aufhören der Inductionsspannung des positiv erregten Drahtendes, zurückkehrt, um sich mit der im Innern der Röhre am ersten Belege frei werdenden negativen Elektricität wieder auszugleichen. Jeder Schliessung und Wiederunterbrechung des Ruhmkorff'schen Apparates entspricht ein solcher Doppelstrom.

Man könnte hiernach annehmen, dass, wenn wir, wie bei dem oben beschriebenen Gassiot'schen Versuche, mit den beiden Drahtenden die beiden Stanniolbelege berühren, zwei zwischen den Belegen hin- und hergehende Doppelströme, vier einfache Ströme auftreten. Aber diese reduciren sich auf zwei, von welchen der Strom bei der Schliessung des Ruhmkorff'schen Apparates die entgegengesetzte, der Strom bei der Oeffnung die gleiche Richtung mit dem direkten Strome hat, der entstehen würde, wenn die beiden Drahtenden, statt die Stanniolbelege zu berühren, an den betreffenden Stellen in die Röhre hineinreichten.

126) Die Stanniolbelege in dem Versuche der Nr. 124 befördern die Hervorrufung des doppelten Inductionsstromes, ohne zu seiner Erregung unumgänglich nothwendig zu sein. Die blosse Berührung einer gehörig evacuirten Glaskugel mit einem der beiden Drahtenden genügt, um in der Kugel eine von dem berührten Punkte ausgehende und zu demselben zurückkehrende Strömung hervorzurufen, die unter der Einwirkung des Magneten im Allgemeinen zu einer freien magnetischen, oder in einem besonderen Falle zu einer epibolischen Curve sich zusammenzieht. Der Weg des freien Stromes ist durch die einzige magnetische Curve, welche durch den der Berührungsstelle entsprechenden Punkt der inneren Wandung geht und diese noch in einem zweiten Punkte schneidet, vollkommen bestimmt. Der Strom geht auf dieser Curve hin und her. Der Strom bewegt sich dann auf einer *epibolischen*

Curve hin und her, wenn die magnetische Curve in dem der Berührungsstelle entsprechenden Punkt der inneren Wandung diese Wandung berührt.

127) Wir können gleichzeitig mit *beiden* Drahtenden des Ruhmkorff'schen Apparates die Kugel berühren. Dann entspricht jedem der beiden Berührungspunkte im Innern der Kugel eine besondere Doppelströmung. Die beiden Doppelströmungen bilden unter der Einwirkung des Magneten im Allgemeinen zwei verschiedene magnetische Curven; sie vereinigen sich nur dann zu einer einzigen Doppelströmung, wenn die beiden berührten Punkte derselben magnetischen Curve angehören. Eine der beiden Doppelströmungen kann insbesondere auf der epibolischen Curve sich bewegen, während die andere den Lauf einer freien magnetischen Curve beibehält. Wenn die berührten Punkte zwei Punkte der epibolischen Curve sind, so giebt es nur eine Doppelströmung auf dieser Curve.

In allen Fällen üben zwei Doppelströmungen, die verschiedene Wege verfolgen, anscheinend keine Einwirkung auf einander aus.*)

128) Wir erhalten ferner auch dann in sich selbst zurückkehrende elektrische Ströme, wenn wir uns einer längeren evacuirten Röhre bedienen, in deren einem Ende eine Elektrode eingeschmolzen ist, und diese Elektrode mit einem Drahtende des Ruhmkorff'schen Apparates verbinden, während das andere Drahtende entweder frei bleibt oder, um dem ersten Ende eine grössere Spannung zu geben, mit der Erde in leitende Verbindung gesetzt, etwa, wie Herr Böttger lehrt, mit einer Gasröhrenleitung verbunden wird. Wenn wir dann insbesondere noch die Röhre in grösserer Entfernung von der Elektrode mit der Hand berühren, oder im zweiten Falle, um stärkere Schläge zu vermeiden, einen mit der Erde verbundenen Beleg anbringen, so strömt die Elektricität, die gewöhnliche Schichtung zeigend, von der Elektrode zu der berührten Stelle oder dem Belege hin und kehrt von hier wieder zur Elektrode zurück. Dieser in sich zurückkehrende Strom wird auch in diesem Falle durch den Elektromagnet nachgewiesen; unter dessen Einwirkung ist der Weg des hingehenden Stromes ein anderer, als der Weg des zurückkehrenden; die Intensität beider ist dieselbe.

Es ist wohl kaum in Frage zu stellen, dass der zurückkehrende Strom wieder in die Elektrode eintritt. Doch in die Erörterung dieser Frage gehe ich hier nicht ein, weil sie ohne ein Eingehen in die

*) Herr Faraday theilte mir unterm 27. Juli d. J. die auch seinerseits gemachte Beobachtung der Nr. 124 mit. Ich habe sie in der unterm 15. Juli abgedruckten Abhandlung mitgetheilt, wobei ich namentlich die Versuche der Nr. 126 und 127 berührte (85 bis 86). S. Pogg. Ann. Bd. 104, S. 629. [Werke II, S. 513—14.]

sämmtlichen Inductionserscheinungen am Ruhmkorff'schen Apparate unvollständig bleiben würde.*)

129) Es finde hier die folgende bemerkenswerthe Beobachtung ihre Stelle. In eine evacuirte Kugel von etwa 45^{mm} Durchmesser ragten zwei etwa 30^{mm} lange Elektroden hinein. (Diese Elektroden befanden sich in zwei Ebenen, die, zu beiden Seiten des Mittelpunktes der Kugel, von diesem 7 bis 8^{mm} abstanden, ihre Richtungen waren gekreuzt.) Als ich eine der beiden eingeschmolzenen Elektroden mit einem beliebigen der beiden Drahtenden des Ruhmkorff'schen Apparates verband, wurde nicht nur diese Elektrode, sondern auch die andere leuchtend, und zwar beide Elektroden anscheinend gleich stark und beide mit dem charakteristischen doppelten Lichte des positiven und negativen Poles zugleich. Als die Kugel auf die genäherten Halbanker gebracht wurde, zog sich an beiden Elektroden das negative Licht zu einer magnetischen Fläche zusammen, während zugleich an jeder derselben positives Licht (schon an seiner Farbe kenntlich) selbstständig auftrat. Dieser Versuch, bei dem es ganz vorzüglich auf den Grad der Verdünnung und die Natur der zurückbleibenden Gasspuren ankommt, zeigt unzweideutig, wie die Elektricität von der ersten zur zweiten Elektrode und von dieser wieder zurück zur ersten strömt. Zugleich sehen wir aber auch, dass hier, wo der elektrische Strom unzweideutig nachgewiesen ist, in der Mitte des Weges die Strömung durch einen dunklen Raum geht.**)

130) Endlich gehören hierhin Beobachtungen, welche der oben schon citirten Beobachtung der Nr. 61 analog sind. Auch wenn die beiden Elektroden einer Geissler'schen Röhre in gewohnter Weise mit den beiden Drahtenden des Ruhmkorff'schen Apparates verbunden sind, der Strom aber auf seinem Wege durch Verengung der Röhre an einer Stelle oder sonst Hindernisse findet, kehrt er theilweise auf seinen Weg zurück. Solche schwächere zurückkehrende Ströme erkennt man sehr oft durch Hülfe des Magneten in solchen Geissler'schen Röhren.

---

*) Bei dieser Gelegenheit erwähne ich des Falles, dass die zur Erregung des Apparates dienenden drei Grove'schen Elemente durch eine Rückinduction auf den Leitungsdraht des primären Stromes so stark als Leydener Batterie geladen wurden, dass selbst die Glasgefässe nicht ungestraft angefasst werden durften.

**) Man hat in dieser Beobachtung gleichzeitig, nur geschwächt, dieselbe Erscheinung, als wenn die beiden Drahtenden nach einander in doppelter Weise mit den beiden Elektroden verbunden werden. Ueber die magnetischen Erscheinungen an solchen Kugeln siehe den folgenden Abschnitt.

131) Auch der Magnet kann hemmend auf die elektrische Entladung wirken (17). Dadurch finden ältere Beobachtungen, die ich an Geissler'schen Röhren, deren Form und relative Dimensionen die Fig. 3, Taf. IV. zeigt, machte, eine befriedigende Erklärung. Als eine solche Röhre mit ihrem engeren Theile so zwischen die genäherten Halbanker gebracht wurde, dass die Kugel, in welche die positive Elektrode bis zur Mitte hineinragte, an dieselben von einer Seite her anstiess, *zeigte sich auch an dieser positiven Elcktrode die negative magnctische Lichtfläche.* Offenbar rührte diese Erscheinung von dem positiven elektrischen Lichtstrome her, der von dieser Elektrode ausgegangen und, durch den Magnet getrennt, theilweise wieder zu ihr zurückkehrte. Indem die positive Elektrode dadurch zugleich zur negativen wurde, bildete an ihr der rückkehrende Strom die magnetische Lichtfläche, welche, wie überhaupt, durch diejenige magnetische Curve begrenzt wurde, die durch die Spitze der Elektrode ging (Fig. 4, Taf. IV). Auf diese Curve folgte ein dunkler schwacher Streifen, welcher die Form derselben annahm und das negative Licht von dem positiven scharf schied. Das positive Licht breitete sich in der Kugel nach der engeren Röhre hin aus, indem es in dieser sich concentrirte.

132) Als die mittlere sphäroidische Erweiterung derselben Röhre an die beiden Halbanker von der Seite her angestossen wurde, zeigte sich, namentlich bei theilweisem Erlöschen des Lichts, in dem zwischen den Ankern befindlichen engeren Theile der Röhre ein ruhiger Lichtbogen, der aus erleuchteten magnetischen Curven zusammengesetzt war und mit seinen beiden Enden auf der inneren Glaswandung aufstand. Diese erleuchteten magnetischen Curven waren die ersten, die ich fern von jeder Elektrode beobachtete (Fig. 3, Taf. IV.).

Statt des ruhigen Lichtbogens sieht man oft unruhige Lichtströmungen nach magnetischen Curven übergehen. Aber der Magnet als solcher ist es nicht, der in diesem Falle die Lichtströmung hervorruft; er zeichnet ihr bloss ihren Weg vor. Sie wird durch die Berührung des Ellipsoids mit irgend einem Leiter hervorgerufen. Es genügt insbesondere, das Ellipsoid mit zwei Fingern in zwei Punkten derselben magnetischen Curve zu berühren, um in einer schwach erhellten Umgebung diese Curve in hellerem Lichte leuchten zu sehen. *Die blosse Induction durch die Hand* reicht also hin, um in dem Ellipsoïd, durch welches hindurch der Ruhmkorff'sche Apparat entladen wird, in sich zurückkehrende, durch den Magnet gerichtete Ströme hervorzurufen, denen ähnlich, die in den Nr. 85 bis 86 und 124 bis 127 beschrieben worden sind.

133) Aus dem Vorstehenden ergiebt sich, wie verschiedenartig die

Verhältnisse sind, unter welchen in sich zurückkehrende elektrische Strömungen entstehen. Es ist mir sehr wahrscheinlich, dass auch *die magnetischen Lichtflächen durch Ströme dieser Art gebildet werden;* denn die Beobachtungen, welche Gegenstand des nächsten Abschnittes sind, werden in unzweideutigster Weise darthun, dass die Bildung der fraglichen Flächen zu dem eigentlichen elektrischen Entladungsstrom *nicht* gehört.

Das positiv elektrische Licht und seine Spiralen unter der Einwirkung des Magneten.

134) In einer längeren Geissler'schen Röhre tritt, wenn durch sie hindurch der Ruhmkorff'sche Apparat entladen wird, an beiden Elektroden ein charakteristisches Licht auf, das schon an der verschiedenen Farbe erkenntlich ist. Das Licht der negativen Elektrode, *das negative Licht,* entfernt sich nicht weit von seiner Elektrode. Es füllt (bei gehöriger Verdünnung), wenn diese von einer Kugel von etwa 50^{mm} Durchmesser umgeben ist, in welche sie bis zur Mitte hineinreicht, zunächt diese Kugel aus und ist von dem Lichte der positiven Elektrode, *dem positiven Lichte,* durch eine dunkle Stelle, deren Breite nach Umständen weniger als ein Millimeter und mehr als ein Decimeter betragen kann, getrennt. Das positive Licht hingegen verbreitet sich von der positiven Elektrode aus selbst durch meterlange Röhren bis zur dunkeln Stelle. Es zeigt auf seinem Wege die von Herrn Grove zuerst beobachteten dunklen Streifen, deren *erster,* nach der Form der Elektrode sich gestaltend, an diese unmittelbar sich anlehnt, als deren *letzter* die dunkle Stelle, welche das negative Licht begrenzt, anzusehen ist. Dass eine elektrische Strömung, von der positiven Elektrode ausgehend, die negative Elektrode wirklich erreicht, dass nur das Auftreten des Lichtes auf ihrem Wege ein discontinuirliches ist: daran können wir auch entfernt nicht zweifeln, wenn wir erwägen, dass diese Strömung unter der Einwirkung des Magneten genau den vorgeschriebenen Gesetzen folgt. Dass auch eine dunkle Entladung stattfinden kann, ist nicht bestritten, einen neuen Beleg dazu bietet die Beobachtung der Nr. 129. Ebenso zuversichtlich können wir wohl annehmen, dass nur ponderable Materie es ist, die, von dem elektrischen Strome ergriffen, das Leuchten desselben hervorbringt. Die Art des Leuchtens ändert sich mit der Natur der ponderablen Materie. Für eine Erklärung der Entstehung der dunklen Stelle und der dunklen Schichten haben wir bis jetzt keine physikalische Grundlage, doch scheint mir noch immer am wahrscheinlichsten, dass die verschiedene Helligkeit des Lichtes und das gänzliche Erlöschen desselben in einer

verschiedenen Ansammlung der ponderablen Materie seinen Grund hat (6).

Je mehr meine Beobachtungen sich vervielfältigen, desto mehr erscheint mir *das negative Licht ein selbstständiges, das zu dem eigentlichen elektrischen Strome und seinem Lichte keine unmittelbare Beziehung hat.* Die merkwürdige Einwirkung des Magneten auf dasselbe ist durch mich vollständig festgestellt worden, und in jedem vorliegenden Falle können wir die schönen mannigfaltig gestalteten magnetischen Flächen, zu denen es sich zusammenlegt, im Voraus bestimmen. Das ursprüngliche Auftreten des *positiven Lichtes* an seiner Elektrode war bisher noch ins Dunkel gehüllt, und wenn mich auch vereinzelte Beobachtungen, z. B. das Auftreten von kleinen leuchtenden Spiralen an der positiven Elektrode, ein eigenthümliches Verhalten bei der Entstehung des positiven Lichtes mit Sicherheit vermuthen liessen, so blieb es doch bisher unmöglich, unter den vielen fremden Störungen die eigentliche Erscheinung zu ermitteln. Um diese Störungen zu beseitigen, musste vermieden werden, dass die positive Strömung mit ihrem Lichte gleich nach ihrem Auftreten in eine Röhre hineingezogen wurde, von deren Form ihr Weg abhängig gemacht wird. Da in allen bisherigen Beobachtungen eine Tendenz der Vereinigung des positiven und negativen Lichtes in keiner Weise wahrgenommen war, wurden in dieselbe Kugel von etwa 50^{mm} Durchmesser beide Elektroden in einer geringeren Entfernung von einander eingeschmolzen. Alles entsprach der Erwartung; das Licht der beiden Elektroden, schon an der verschiedenen Färbung kenntlich, blieb von einander scharf getrennt. (Selbst als die Spitzen der beiden Elektroden auf weniger als 5^{mm} einander genähert wurden, bildete sich kein Lichtbogen zwischen denselben.) Die Kugel füllte sich mit diffusem Lichte. Der Magnet wirkte aber in durchaus verschiedener Weise auf das zwiefache Licht. Das negative Licht zeigte, nicht gestört durch das positive Licht, in schönster Weise die früher beschriebenen Erscheinungen und bestätigte vollkommen das von mir aufgestellte Gesetz ihrer Bildung. An der positiven Elektrode aber traten ganz neue Erscheinungen auf. Um von diesen ein Bild zu geben, werde ich bei der ausserordentlichen Mannigfaltigkeit derselben einige einzelne Fälle einer ausführlichen Erörterung unterziehen und zugleich versuchen, das Gesetz des Auftretens auch dieser neuen schönen Erscheinungen zu geben.

Ich bemerke, dass bei den nachfolgenden Versuchen, wo nicht ausdrücklich ein anderes Gas genannt ist, die Kugeln Stickstoffgas in möglichster Verdünnung enthielten. In diesem Falle ist das negative Licht schön violett, das positive feuerroth. Solche Kugeln zeigen nach

den bisherigen Erfahrungen das Ganze der Erscheinungen am besten, wenn auch einzelne dieser Erscheinungen dann schöner hervortreten, wenn statt des Stickstoffgases ein anderes Gas angewendet wird.

135) I. Es gingen in die angewendeten Glaskugeln von 45^{mm} Durchmesser die beiden Elektroden nur bis zur inneren Wandung hinein und waren dort zu kleinen Knöpfen abgerundet. In einer Kugel standen die beiden Knöpfchen einander diametral gegenüber, in einer zweiten nicht.

1. Wenn eine solche Kugel so auf den grossen Elektromagnet aufgelegt wird, dass die Ebene desjenigen grössten Kreises, der durch die beiden Knöpfchen der Elektroden geht, senkrecht und axial ist, so fallen die beiden magnetischen Curven, welche durch diese Knöpfchen gehen und dadurch vollkommen bestimmt sind, ganz in diese Ebene. Nach Erregung des Elektromagneten vereinigte sich das Licht der negativen Elektrode zu einem einzigen Bogen, der mit der bezüglichen magnetischen Curve zusammenfiel. An der positiven Elektrode trat eine Spirale auf, die, ähnlich wie eine logarithmische Spirale ihren Pol nicht erreicht, mit einer Spitze in der Nähe des bezüglichen Knöpfchens begann. Sie lehnte sich an die Glaswandung an, fluthete dann aber, unbestimmt sich ausbreitend, zu dem negativen Lichtbogen über, wobei sie indess von demselben durch eine dunkle Stelle getrennt blieb.

Wir haben hier vier verschiedene Fälle zu unterscheiden, die einer verschiedenen magnetischen Polarität und einer verschiedenen Stromrichtung entsprechen. In der Fig. 5, Taf. IV. sind die beiden magnetischen Curven NS und $N'S'$ angedeutet, nach N und N' hin liegt der Nordpol, nach S und S' hin den Südpol des Elektromagneten. Die untere derselben ist innerhalb der Kugel erleuchtet, wenn A die positive und B die negative Elektrode ist. Die Art und Weise, wie das positive Licht von dem Punkte A aus sich verbreitet, ist bei dem grossen Wechsel der Erscheinung schwer im Einzelnen zu beschreiben. Es strömt von diesem Punkte an der inneren Glaswandung nach vorn hin, wobei es aber in keinem Falle über die Aequatorialebene hinausgeht und, wenn es diese überhaupt erreicht, in derselben dem Laufe einer epibolischen Curve folgt. Von der ganzen eigentlichen Lichtströmung fluthet schwächeres Licht nach der negativen Elektrode B hin. Kehren wir die magnetische Polarität um, so stellt sich der Lichtbogen unverändert wieder her, nur zieht sich das positive Licht in ganz gleicher Weise, wie früher nach vorn, nun nach hinten. Nach einer Commutation des Ruhmkorff'schen Apparates wird statt der unteren magnetischen Curve die obere erleuchtet (Fig. 6, Taf. IV.), und das positive Licht strömt in der beschriebenen Weise von B nach A

hin und zwar bei der magnetischen Polarität des zuerst erwähnten Falles nach hinten, des zweiten nach vorn.

136) Wenn insbesondere die beiden Enden der Elektroden A und B derselben magnetischen Curve angehören, so vereinigt sich alles Licht auf dieser Curve zu einem einzigen ununterbrochenen Lichtbogen (Fig. 7, Taf. IV.). Auf diese Erscheinung hat weder die Stromrichtung, noch die Polarität des Elektromagneten Einfluss. Die obige Bedingung wird dann immer erfüllt, wenn die Glaskugel auf der Mitte des Magneten aufliegt, und die beiden Platinknöpfchen A und B zu beiden Seiten derselben gleich hoch liegen (Fig. 8, Taf. IV.).

137) Wenn die Glaskugel wiederum in die Mitte gelegt und dann um ihren äquatorialen Durchmesser so gedreht wird, dass der Endpunkt der positiven Elektrode A, indem er die höchste oder tiefste Lage einnimmt, in die Aequatorialebene rückt, so tritt an die Stelle der früheren Curve eine *epibolische*. In der Doppelfigur 9, Taf. IV. ist A der höchste Punkt, in welchem die Kugel von einer magnetischen Curve berührt wird, und $N'S'$ diejenige magnetische Curve, welche durch das Ende B der negativen Elektrode geht, und nach der innerhalb die Kugel erleuchtet ist. Von dem Punkte A aus zieht sich auf dem Umfange des in der Aequatorialebene liegenden grössten Kreises durch etwas mehr als einen Quadranten ein heller, scharf begrenzter, zuletzt in eine feine Spitze auslaufender Lichtstreifen AE, von dem aus wallendes Licht nach dem negativen Lichtbogen hin überfluthet. Es liegt in der Doppelfigur 9, Taf. IV. der Südpol bezüglich rechts und nach vorn, der epibolische Lichtstreifen erstreckt sich bezüglich nach vorn und links. Bei einer Commutirung der magnetischen Polarität rückt dieser Streifen bezüglich nach hinten und rechts.

In der Doppelfigur 10, Taf. IV. liegt der Punkt A am tiefsten, die magnetischen Pole liegen wie in der früheren Doppelfigur. Der epibolische Streifen AE geht bezüglich nach hinten und rechts. Er geht nach einer Commutation der magnetischen Polarität nach vorn und links.

138) Wenn in Folge einer Drehung der Kugel um ihren äquatorialen Durchmesser statt des Endpunktes der positiven Elektrode der Endpunkt der negativen in die Aequatorialebene rückt (es kommt dies schliesslich auf eine Commutation des Ruhmkorff'schen Apparates in den vier Fällen der vorigen Nummer hinaus), so wird der erleuchtete Theil der magnetischen Curve immer kleiner bis zum gänzlichen Verschwinden, während der Weg des positiven Lichtes sich analog wie früher bestimmt.

139) 2. Wenn die evacuirte Glaskugel so auf dem grossen Elektromagneten aufliegt, dass der durch die beiden Elektrodenenden A und B gehende grösste Kugelkreis in die Aequatorialebene fällt, so folgt der positive Lichtstrom einer epibolischen Curve. In dem Falle, dass die beiden Elektrodenenden einander diametral gegenüber und gleich hoch lagen, bildete sich, von der positiven Elektrode A ausgehend, ein heller, scharf begrenzter Lichtstreifen AE, der etwas mehr als einen Quadranten des äquatorialen Kugelkreises erleuchtete und etwas über den höchsten oder tiefsten Punkt hinaus in eine feine Spitze auslief. Von diesem Lichtstreifen fluthete seiner ganzen Länge nach in der Aequatorialebene Licht zur negativen Elektrode hinüber, das durch einen nach dem Mittelpunkte hin concaven Bogen ziemlich scharf begrenzt wurde. In den Fällen der Fig. 11 und 12, Taf. IV. ist A die positive und B die negative Elektrode. Die beiden Fälle gehen durch eine Commutation der magnetischen Polarität in einander über. In dem ersten ist der Südpol vorn, und der epibolische Lichtstreifen senkt sich nach dem tiefsten Punkte. In dem zweiten Falle ist der Nordpol vorn, und der Lichtstreifen zieht sich nach oben. Bei der Polarität der Fig. 11, Taf. IV. würde nach einer Aenderung der Stromrichtung der Lichtstreifen von B aus nach oben sich erstrecken; bei der Polarität der Fig. 12 von B aus nach unten.

140) II. Kugel von 45^{mm} Durchmesser, *mit zwei durchgehenden parallelen Platin-Elektroden* AB und CD, die in der Ebene desselben grössten Kreises gleich weit vom Mittelpunkte der Kugel entfernt waren. Es war durchaus gleichgültig, welches der beiden Enden einer Elektrode mit einem Ende des Inductionsdrahtes des Ruhmkorff'schen Apparates verbunden wurde. Um die ganze negative Elektrode verbreitete sich schön violettes Licht, das positive Licht trat als ein schmaler Längenstreifen an derjenigen Seite der positiven Elektrode auf, die der negativen zugekehrt war. Die Kugel wurde auf die beiden mit ihren kreisförmig abgerundeten Seiten einander zugewandten grossen Halbanker gelegt, und zwar, wenn nicht das Gegentheil ausdrücklich bemerkt werden wird, auf die Mitte derselben.

1. Die beiden Elektroden waren *axial gerichtet und befanden sich in derselben Horizontalebene.*

Die von dem *negativen* Lichte gebildete magnetische Fläche wich wenig von der Ebene desjenigen kleineren Verticalkreises ab, der durch die bezügliche Elektrode geht, und wurde in dieser Ebene nach unten durch einen hellvioletten, einige Millimeter breiten magnetischen Bogen, der die Mitte der Elektrode berührte, scharf begrenzt; nach oben war das Licht schwächer, aber die Grenze war ebenfalls scharf und wurde

von derjenigen magnetischen Curve, welche durch die beiden Endpunkte derselben Elektrode geht, vorgezeichnet. Die Erscheinung dieser magnetischen Lichtfläche stellt sich nach einer Commutation der magnetischen Polarität in ganz gleicher Weise wieder her; nach einer Commutation der Stromrichtung tritt sie in gleicher Weise an der anderen Elektrode auf.

Um die Lichterscheinungen an der *positiven* Elektrode zu beschreiben, wollen wir von dem Falle der Fig. 13, Taf. IV. ausgehen, in welcher, von oben angesehen, AB die positive, CD die negative Elektrode ist, und die Kugel links auf dem Südpole, rechts auf dem Nordpole aufliegt. Unter diesen Voraussetzungen wurde, nachdem der Elektromagnet erregt worden war, das Licht der positiven Elektrode nach den Enden derselben, A und B, hingedrängt, von wo aus es in zwei Spiralen zu der negativen Elektrode übergeführt wurde. Diese beiden Spiralen lehnten sich anfänglich an die innere Glaswandung an, breiteten dann aber sich immer mehr aus, zuletzt von oben her zu dem violetten Lichte der negativen Elektrode sich hinziehend, ohne sich jedoch mit diesem zu vereinigen. Von der Aequatorialebene aus angesehen war die Spirale oberhalb des Südpols eine rechtsgewundene, die Spirale oberhalb des Nordpols eine linksgewundene.

141) Die Erscheinung änderte sich mit einer Aenderung der magnetischen Polarität. Das Licht der positiven Elektrode wurde von den Enden derselben nach der Mitte, nach der Aequatorialebene, hingedrängt. Von hier aus verbreitete es sich in zwei Schneckenlinien, welche durch die dunkle Aequatorialebene von einander getrennt, sich umgekehrt wie früher wanden und, von unten her sich ausbreitend, nach den Enden der negativen Elektrode sich hinzogen (Fig. 14, Taf. IV.).

142) Durch eine Commutation der Stromrichtung treten die beiden Spiralen in dem Falle der Fig. 13, Taf. IV. von den Enden der Elektrode AB zu der Mitte der Elektrode CD hinüber; sie ziehen sich umgekehrt gewunden wie in der Fig. 14 zuletzt von unten her zur negativen Elektrode hin (Fig. 15). Findet die Commutation in dem Falle der Fig. 14 statt, so treten die Spiralen von der Mitte der Elektrode AB zu den Enden der Elektrode CD hinüber, zuletzt, umgekehrt gewunden wie in Fig. 13, von oben her zur negativen Elektrode sich hinziehend (Fig. 16).

143) 2. Die beiden Platin-Elektroden waren *axial* und *lagen senkrecht über einander in der axialen symmetrischen Ebene.*

Als positive Elektrode wurde zuvörderst die untere genommen, als negative die obere. Die magnetische Fläche fiel in die Ebene der beiden Elektroden. Sie wurde oben durch die innere Glaswandung

begrenzt, weil die durch die beiden Endpunkte der oberen Elektrode gehende magnetische Curve ausserhalb der Kugel fiel, nach unten bildete die Grenze diejenige magnetische Curve, welche diese Elektrode in ihrer Mitte berührte und, bei der gewählten Entfernung der beiden Halbanker, auf der unteren Elektrode nahe den beiden Endpunkten derselben aufstand. Nur in diesen Endpunkten war diese Elektrode in feuerrothem Lichte ruhig leuchtend. Die Beleuchtung der magnetischen Fläche war eine ziemlich gleichmässige (Fig. 17, Taf. IV.).

144) Als die Kugel von der Mitte aus parallel mit sich selbst nach axialer Richtung über eine Polfläche verschoben wurde, änderte sich die obige magnetische Fläche in bekannter Weise. Die begrenzende magnetische Curve schnitt die untere positive Elektrode AB nur in einem einzigen Punkte E, der, je nach der Grösse der Verschiebung, mehr oder weniger von dem Endpunkte derselben, B, sich entfernte, wonach ein kleinerer oder grösserer Theil, AE, dieser Elektrode innerhalb der magnetischen Fläche zu liegen kam. (Diese Fläche erstreckte sich, wie gewöhnlich, bis zur Glaswandung, woran sie bei der Feinheit der Elektrode AB nicht gehindert wurde.) Dieser Theil der Elektrode leuchtete ruhig in röthlichem Lichte (um so weniger stark, je grösser er war), während der übrige Theil, EB, ganz dunkel war (Fig. 18, Taf. IV.).

Bei einer Commutation der Magnetpole änderte sich die Erscheinung durchaus nicht.

145) Die Erscheinung wird aber eine ganz andere, wenn durch eine Commutation der Stromrichtung die untere Elektrode die negative, die obere die positive wird, wobei keine durch einen Punkt der unteren Elektrode gehende magnetische Curve die obere positive Elektrode schneidet. Die magnetische Fläche in der Ebene der beiden Elektroden wurde durch zwei magnetische Curven begrenzt, von denen die untere, EFG, die negative Elektrode in deren Mitte berührte, die obere, AHB, durch die beiden Endpunkte derselben ging. Das Licht der magnetischen Fläche, das an der unteren Begrenzung einen besonders hellen, einige Millimeter breiten Bogen bildete, nahm nach der oberen Begrenzung hin ab, ohne dass diese dadurch unbestimmt wurde. Während diese Lichtfläche von der magnetischen Polarität unabhängig ist, erhalten wir eine doppelte Erscheinung an der positiven Elektrode. Diese Erscheinung ist eine sehr wechselnde und daher schwer zu beschreiben. Das Constante derselben ist, dass das positive Licht, wenn im Falle der Fig. 19, Taf. IV. der Nordpol links liegt, nach *Vorne* hin in einem Bogen von seiner Elektrode zur negativen überströmt. Wenn aber der Südpol links liegt, so strömt es nach *Hinten* über. Vor dem

Ueberströmen sammelte sich das positive Licht an einer oder an mehreren Stellen seiner Elektrode; diese Stellen waren aber nicht immer dieselben. Zuweilen zeigte sich eine schöne Schichtung des Lichtes. Die Grenze des nach der magnetischen Fläche hinströmenden und sich immer mehr verbreitenden Lichtes war durch die obere Begrenzung dieser Fläche, von der es durch einen dunklen Streifen getrennt blieb, gegeben.

Als die Kugel, parallel mit sich selbst, senkrecht nach oben gehoben, und zugleich die beiden Halbanker einander bis auf 2^{mm} genähert wurden, änderte sich die Erscheinung in der Art, dass der positive Draht in seiner ganzen Länge leuchtend blieb, und das positive Licht durch einen schmalen dunklen Streifen einerseits von dem Drahte, andererseits von der magnetischen Fläche getrennt war. Fig. 20, Taf. IV.

146) 3. *Die beiden Elektroden waren äquatorial gerichtet und lagen in derselben Horizontalebene.*

Als die Mitte zwischen den beiden Elektroden in die Aequatorialebene fiel, ging dieselbe gewölbeförmige magnetische Fläche durch beide Elektroden zugleich und stand auf beiden Seiten auf der inneren Glaswandung auf. Sie war gleichmässig in violettem Lichte erleuchtet. Die positive Elektrode hatte ihr Licht verloren. Eine Commutation der magnetischen Polarität änderte in der Erscheinung nichts.

147) Als die Kugel, parallel mit sich selbst, nach axialer Richtung verschoben wurde, so dass sie auf einer einzigen Polfläche aufstand, änderte sich die magnetische Fläche nach bekanntem Gesetze. In dem Falle der Fig. 2, Taf. V. stand sie auf dem Südpole auf, und es zog sich die magnetische Fläche durch die negative Elektrode CD unterhalb der positiven Elektrode AB zur Glaswandung hin. An dieser Elektrode zog sich das Licht nach A, dem einen ihrer Endpunkte, hin und ging von da in einer Spirale, die sich wand, wie der Zeiger einer Uhr sich dreht, deren Zifferblatt von der Mitte der Kugel aus angesehen wird. Bei einer Verschiebung über den Nordpol des Elektromagneten ging die magnetische Fläche oberhalb der positiven Elektrode AB zur Glaswandung. Das positive Licht drängte sich zum anderen Ende B der Elektrode hin, wo es eine umgekehrt gewundene Spirale bildete, die wie im ersten Falle, ihr Licht nach oben hin ergoss (Fig. 1, Taf. V.). In beiden Fällen ging bei einer Commutation des Magneten die Spirale von dem einen Ende des Drahtes nach dem anderen, und beide Spiralen ergossen ihr Licht nach unten.

148) Als die Kugel um die äquatoriale Richtung so gedreht wurde, dass diejenige Ebene, welche durch die beiden Elektroden ging, eine

Neigung gegen den Horizont erhielt, so gab es immer eine einzige bestimmte parallele Verschiebung nach der axialen Richtung, bei welcher beide Elektroden derselben magnetischen Fläche angehörten. In dieser Lage verlor, wie früher (146), alles positive Licht sich in dieser Fläche.

149) Wenn wir von einer bestimmten Lage ausgehen und dann entweder die Kugel um ihren äquatorialen Durchmesser drehen, so dass die durch die beiden Elektroden gehende Ebene mehr oder weniger geneigt wird, oder auch die Kugel parallel mit sich selbst in dem einen oder anderen Sinne nach axialer Richtung verschieben, so tritt dadurch die positive Elektrode auf der einen oder anderen Seite aus der magnetischen Fläche heraus. Dann kommt bei der doppelten Lage die positive Spirale an dem einen oder anderen Ende der Elektrode zum Vorschein, wie dieses vor und nach einer Commutation der magnetischen Polarität stattfindet. Wenn die positive Elektrode von einer Seite der magnetischen Fläche auf die andere hinübertritt, und zugleich die magnetische Polarität sich ändert, so bleibt die Spirale an demselben Ende der Elektrode, ist aber entgegengesetzt gewunden.

150) 4. *Die beiden Elektroden waren äquatorial gerichtet und lagen in der Aequatorialebene senkrecht übereinander.*

In diesem Falle ging eine gewölbeartige Fläche durch die negative Elektrode; die positive Elektrode blieb zwar ihrer ganzen Länge nach leuchtend, doch concentrirte sich das Licht besonders an dem einen Ende derselben, von wo es nach der epibolischen Curve in der Aequatorialebene auf der Glaswandung nach der negativen Elektrode sich hinzog. Diese epibolische Curve ging sowohl bei einer Umkehrung der Stromrichtung, als auch bei einer Commutation der magnetischen Polarität, auf die entgegengesetzte Seite der Kugel hinüber. In dem Falle der Fig. 3, Taf. V. ist die positive Elektrode oben. Die Ansicht ist von der Seite des Südpols her genommen.

151) 5. *Die beiden Elcktroden waren senkrecht, und die senkrechte Ebene, in der sie lagen, war die axiale.*

Die magnetische Lichtfläche ging durch beide Elektroden und füllte mit ihrem Lichte die Fläche des diese Elektroden enthaltenden grössten Kreises bis auf einen kleinen Theil desselben aus, der durch die durch den unteren Punkt der negativen Elektrode bestimmte magnetische Curve abgeschnitten wurde. (Fig. 4, Taf. V.) Am positiven Drahte zeigte sich kein besonderes Licht. Die Erscheinungen beim parallelen Verschieben der Kugel nach axialer Richtung, so wie bei einer Drehung derselben um ihren verticalen Durchmesser waren früher beschriebenen ganz analog (149).

152) 6. *Die beiden Elektroden waren senkrecht und lagen in der Aequatorialebene.*

Die fast ebene magnetische Fläche füllte den kleineren Kugelkreis, der die senkrechte negative Elektrode zum Durchmesser hat, mit ihrem Lichte fast gleichmässig aus. Das positive Licht ging von einem Ende der bezüglichen Elektrode zu dem entsprechenden Ende der anderen, dem Lauf einer epibolischen Curve folgend, über. In dem Falle der Fig. 5, Taf. V, wo die magnetische Lichtfläche als Linie AB erscheint, ist die Kugel von der Seite des Südpoles her angesehen, und die positive Elektrode CD ist rechts. Aus diesem Falle leiten sich alle übrigen ab.

153) Das positive Licht wird in dem Falle der Fig. 5, Taf. V. auf der positiven Elektrode nach oben gedrängt und so zu der Glaswandung geleitet, dass es in einer epibolischen Curve zur negativen Elektrode hingehen kann. Eine epibolische Curve ist hier *der einzig mögliche* Weg, den das Licht nehmen kann, weil keine *freie* magnetische Curve die beiden Elektroden verbindet (79). Es entsteht hierbei die Frage, was dann geschehen würde, wenn die positive Elektrode, in deren oberen Endpunkte das Licht zusammengedrängt wird, nicht bis zum Glase reichte, sondern von unten her etwa nur bis zur halben Höhe in die Kugel hineinragte. Der Versuch wurde mit einer demgemäss hergestellten Kugel gemacht. *Das Licht fluthete von dem freien Ende (E) der positiven Elektrode in allen Richtungen zu der magnetischen Lichtfläche über* (Fig. 6, Taf. V.).

Bei einer Commutation der magnetischen Polarität trat die epibolische Curve unten wiederum auf, gerade so wie in dem Falle der vorhergehenden Nummer, wo beide Elektroden ganz durchgingen (Fig. 7, Taf. V.).

154) III. Kugel von gleicher Grösse mit zwei durchgehenden Elektroden, die gleich weit vom Mittelpunkte abstanden, und *deren Richtungen sich senkrecht kreuzten.*

1. *Die untere Elektrode AB war äquatorial, die obere CD axial gerichtet.* Als die untere Elektrode AB zur negativen genommen wurde, ging durch dieselbe eine gewölbeartige magnetische Fläche, zu der von der oberen positiven Elektrode CD Licht in Bogen überströmte, die in dem Falle der Fig. 8, Taf. V, wo der Nordpol links liegt, nach vorne, in dem anderen Falle, wo der Nordpol rechts liegt, nach hinten gekehrt sind.

155) Nach einer Commutation der Stromrichtung war die durch die obere Elektrode gehende magnetische Fläche eine ebene, nach unten durch einen hellen Lichtbogen begrenzt, der über die untere

positive Elektrode sich spannte. Das positive Licht wurde nach einem Endpunkte dieser Elektrode hingedrängt und zog sich von da nach einer epibolischen Curve an der Glaswandung bis zur Höhe der negativen Elektrode hinauf. Hauptsächlich von dieser epibolischen Curve, dann aber auch von dem ihr zunächst liegenden Theile der positiven Elektrode, der etwa ein Drittel der ganzen Elektrode betrug und leuchtend blieb, verbreitete sich das Licht fluthend nach der magnetischen Lichtfläche hin. In dem Falle der Fig. 9, Taf. V. liegt der Südpol bezüglich links und nach vorne. Bei einer Commutation der magnetischen Polarität tritt die Erscheinung bloss von dem einen Drahtende A zum anderen B hinüber.

156) 2. *Die untere Elektrode AB war axial, die obere CD äquatorial gerichtet.*

Als die untere Elektrode AB zur negativen genommen wurde, ging durch dieselbe eine ebene magnetische Fläche, welche nach unten und oben durch eine magnetische Curve begrenzt war. Senkrecht gegen diese Fläche und oberhalb derselben befand sich die positive Elektrode, deren Licht sich nach einem Ende derselben hinzog und von da aus in einer epibolischen Curve bis zur Höhe des unteren Drahtes sich senkte. Etwa von der Hälfte der positiven Elektrode, vorzüglich aber von dem hellen epibolischen Lichtstrome, fluthete das Licht zur convexen oberen Begrenzung der magnetischen Fläche über. In der Fig. 10, Taf. V. liegt der Südpol bezüglich links und nach vorne.

Nach einer Umkehrung der Stromrichtung ging eine gewölbeartige magnetische Fläche durch die obere Elektrode und, bei dem genommenen Abstande der Pole, zugleich durch die Endpunkte der unteren positiven Elektrode. Diese Punkte wurden in dem der Elektrode eigenthümlichen Lichte leuchtend. Im Uebrigen reducirte sich die Erscheinung auf die blosse magnetische Fläche (Fig. 11, Taf. V.).

Der Mittelpunkt der Kugel wurde hierauf aus der Aequatorialebene auf eine der Polflächen verschoben. Dann schnitt die magnetische Fläche den positiven Draht in einem Punkte E, der leuchtend wurde. Ausserdem aber sammelte sich das Licht zu einer rundlichen Anhäufung in G. Durch eine Commutation der magnetischen Polarität änderte sich die Erscheinung in keiner Weise (Fig. 12, Taf. V.).

157) 3. *Ein Draht war senkrecht, der andere äquatorial gerichtet.*

Als der senkrechte Draht der negative war, schnitt die durch denselben gehende ebene magnetische Fläche die positive Elektrode in einem einzigen Punkte, der hell leuchtete, während der ganze übrige Theil derselben dunkel war. Eine Commutation der magnetischen Polarität änderte nichts (Fig. 13, Taf. V.). Nach einer Aenderung der

Stromrichtung schneidet die durch die äquatoriale Elektrode gehende gewölbeartige magnetische Fläche die senkrechte Elektrode in einem leuchtenden Punkte. Auch hier änderte eine Commutation der magnetischen Polarität nichts.

158) 4. *Eine Elektrode war senkrecht, die andere axial gerichtet.*

Als die senkrechte Elektrode die negative war, zog sich die ebene magnetische Fläche, einen kleinen Kugelkreis ganz ausfüllend, durch dieselbe. Die axiale Elektrode war dieser Fläche parallel. In dem Falle der Fig. 14, Taf. V., wo der Südpol nach vorne lag, sammelte sich das ganze positive Licht in der Mitte dieser Elektrode und verbreitete sich von da aus wie ein spiralförmig gewundenes Band (4 bis 5^{mm} breit), das vom Südpole angesehen dem Gange des Zeigers einer Uhr entsprechend sich öffnete und von unten her sich immer mehr verbreitend zur magnetischen Fläche sich hinzog.

Als die magnetische Polarität commutirt wurde, wodurch der Nordpol nach vorne trat, drängte sich das positive Licht nach den beiden Enden der axialen Elektrode hin und verbreitete sich von da in zwei schönen, anfänglich auf der Glaswandung liegenden Spiralen nach dem Umfange der magnetischen Fläche, die unverändert dieselbe geblieben war. Die Spiralen waren umgekehrt gewunden als die bandförmige der vorigen Nummer und ergossen ihr Licht von oben her. Die schöne Erscheinung ist schwer durch eine Figur anzudeuten.

159) Als durch eine Commutation der Stromrichtung die senkrechte Elektrode zur positiven wurde, drängte sich das Licht nach oben oder nach unten und durchzog von dem jedesmaligen Endpunkte derselben aus in der äquatorialen Ebene eine hellleuchtende epibolische Curve, welche sich noch über die Ebene der [durch die negative Elektrode *CD* gehenden] magnetischen Fläche hinaus erstreckte. Von dieser Curve und der anliegenden, leuchtend bleibenden Hälfte der Elektrode fluthete das Licht in der Aequatorialebene zu der magnetischen Fläche über. In der Fig. 15, Taf. V. ist die Kugel vom Nordpole her angesehen. Eine Commutation der magnetischen Polarität bringt die epibolische Curve nach unten.

160) Die unendlich mannigfaltigen und schönen Erscheinungen, die ich in dem Vorstehenden beschrieben habe, bestätigen einerseits sämmtlich die Gesetze, die ich über das Verhalten des *negativen Lichtes* unter der Einwirkung des Magneten früher schon aufgestellt habe*), und über die Bildung der magnetischen Lichtflächen, die sich in den obigen Versuchen bald als volle Kreisflächen, bald als Theile derselben, die durch

*) Siehe Annalen Bd. 104, S. 622 [Abhandl. 33, Werke II, S. 511.]

eine oder zwei magnetische Curven begrenzt sind, bald als gewölbeartige Flächen, bald als Flächen doppelter Krümmung darstellen, wüsste ich nichts mehr hinzuzusetzen. Nur eine Beobachtung finde hier noch ihre Stelle, weil sie einen neuen Beweis liefert, dass das Licht, welches von jedem Punkte der negativen Elektrode ausgeht, den ihm von der durch diesen Punkt gehenden magnetischen Curve vorgeschriebenen Weg mit mathematischer Genauigkeit verfolgt. Die erleuchteten magnetischen Curven sind die Strahlen dieses Lichtes, und wenn ein dunkler Gegenstand von diesen krummlinigen Strahlen getroffen wird, so erhalten wir einen scharf begrenzten, mathematisch bestimmten *Schatten*. Selbst die *positive Elektrode* wirft einen solchen Schatten, wenn sie die magnetische Lichtfläche durchsetzt. [Vergl. Fig. 13.] Ist diese Lichtfläche insbesondere eine gewölbeartige, so tritt auf derselben ein dunkler Streifen von der Dicke der Elektrode auf, der sich, scharf begrenzt, jenseits dieser Elektrode bis zur Glaswandung hinzieht. Die Begrenzung dieses Streifens ist in solchen Fällen, wo die positive Elektrode in dem Punkte, in welchem sie die Fläche durchsetzt, ihr eigenthümliches Licht noch behält, was namentlich von der chemischen Natur der in der evacuirten Kugel zurückgebliebenen Gasspuren abhängt, weniger scharf.

161) Nach ganz anderen Gesetzen aber als das negative Licht folgt das *positive Licht* der Einwirkung des Magneten. Um die in dem Vorstehenden beschriebenen complicirten Erscheinungen, welche das Auftreten dieses Lichtes begleiten, unter einem einzigen Gesichtspunkte zusammenzufassen, genügt es, dass wir auf den *sich bildenden positiven Strom* die bekannten Gesetze über die Einwirkung des Magneten auf ein gegebenes Stromelement übertragen.

162) Das positive Licht tritt vor der Erregung des Elektromagneten immer auf derjenigen Seite der bezüglichen Elektrode auf, die der negativen Elektrode zugekehrt ist; in dem Falle zweier durchgehenden parallelen Elektroden als ein Längsstreifen (140). Von hier aus findet die elektrische Entladung, welche nur in der Nähe der positiven Elektrode leuchtend ist, zur negativen hin statt. Von dieser geht gewissermaassen eine Anziehung aus, und das erste Element des von einem positiven Strome beschriebenen Weges ist offenbar nach der negativen Elektrode gerichtet. Ohne störende Einwirkung ist dieser Weg, zwischen zwei Punkt-Elektroden wenigstens, eine gerade Linie.*)

*) Es scheint, dass die Kraft, welche die positive Elektricität zu der negativen Elektrode hintreibt, nicht, nach Analogie von Gravitationskräften, in dieser Elektrode ihren Ursprung und ihren Sitz hat, sondern dass sie zugleich durch die zwischenliegende ponderable Materie bedingt wird. Dafür spricht insbesondere

163) Zur Bestimmung der Einwirkung des Magneten auf ein Stromelement wollen wir von der durch dieses Element gehenden magnetischen Curve ausgehen und uns um diese Curve die Ampère'schen Strömungen, wie sie in den Magnetpolen, auf welchen ihre Enden aufstehen, stattfinden, fortgesetzt denken. Die volle magnetische Wirkung auf das Stromelement tritt dann ein, wenn dieses senkrecht gegen die magnetische Curve gerichtet ist. Es wird in diesem Falle nach einer Richtung, welche der Richtung der Ampère'schen Ströme entgegengesetzt ist, um die magnetische Curve gedreht. Wenn das Element gegen die magnetische Curve geneigt ist, so erhalten wir die wirksame Kraft, wenn wir statt desselben seine Projection auf die gegen die Curve senkrechte Ebene nehmen. Die Kraft verschwindet, wenn das Element nach der magnetischen Curve gerichtet ist (Fig. 16, Taf. V.).

Das Element würde, wenn die Kraft des Magneten allein wirkte, einen Kreis beschreiben, dessen Mittelpunkt in die magnetische Curve fällt, wenn es bloss der stromerregenden Kraft folgte, eine gerade Linie.[1]) Die aus beiden Bewegungen resultirende ist im Allgemeinen eine *spiralförmige.*

164) Das erste Stromelement ist an die positive Elektrode gebunden und vor der magnetischen Erregung der negativen Elektrode zugewandt. Die eben bezeichnete elektromagnetische Kraft kann dasselbe, wenn die positive Elektrode kein blosser Punkt ist, sondern eine beliebige Linie, der Länge dieser Linie nach *verschieben.* Es würde keine solche Verschiebung stattfinden, wenn die positive Elektrode die Form einer magnetischen Curve hätte, weil dann die erwähnte Kraft immer senkrecht gegen diese Curve wirken würde. Aus demselben Grunde findet eine Verschiebung nach der Elektrode auch dann nicht statt, wenn das erste Stromelement und die bezüglichen Elemente der Elektrode und der magnetischen Curve in einer und derselben Ebene liegen. Wenn aber die Richtung, nach welcher die magnetische Kraft auf das erste Stromelement wirkt, schief gegen die positive Elektrode gerichtet ist, so können wir diese Kraft auf diese Elektrode projiciren, um diejenige Kraft zu erhalten, welche das Stromelement auf derselben parallel mit sich selbst verschiebt. Die Richtung dieser Verschiebung kehrt sich um, wenn die negative Elektrode auf die entgegengesetzte Seite der positiven hinübertritt, wobei der Sinn der Windungen der spiralförmigen Bewegung unverändert bleibt.

---

auch die grosse Leichtigkeit, mit welcher die elektrische Entladung von einer Elektrode aus, ohne sich um die andere zu kümmern, in eine enge laterale Röhre hineingezogen wird, wobei offenbar nur eine inducirende Wirkung der inneren Glaswandung das Bedingende ist (60).

Auch nach einer Commutation der magnetischen Polarität kehrt sich die Richtung der Verschiebung um, hier aber gleichzeitig mit dem Sinne der Windungen. Wenn die positive Elektrode einen einzigen Punkt hat, in welchem die elektromagnetische Kraft senkrecht gegen dieselbe gerichtet ist, so sammelt sich entweder in diesem Punkte das Licht von beiden Seiten her, oder es geht von diesem Punkte aus nach beiden Seiten zu den Endpunkten der Elektrode hin. Wenn ein solcher Punkt nicht vorhanden ist, wird alles positive Licht nach demselben Ende der Elektrode zur Glaswandung hingedrängt. Wenn sich in diesem letzteren Falle insbesondere eine epibolische Curve vorfindet, die das Licht von dem Endpunkte der positiven Elektrode zu einem Endpunkte der negativen überführt, so folgt es dieser in ruhigem Strome. Im Allgemeinen ist aber auch hier die Bewegung eine spiralförmige, die sich zuletzt in ein Ueberfluthen auflöst.

165) Die normalen Spiralen treten in den Fällen der Fig. 13 bis 16, Taf. IV. und in dem Falle der Fig. 14, Taf. V. mit seinen coordinirten Fällen am meisten hervor. In den Figuren 13a, 14a, 15a, 16a, Taf. IV. und 14a, Taf. V. ist durch irgend einen Punkt *M* der positiven Elektrode die magnetische Curve *NS* gelegt. In allen Fällen ist das erste Stromelement (nahe) senkrecht gegen diese Curve gerichtet, nach vorne in den Fällen von Fig. 13a und 14a, nach hinten in den Fällen von Fig. 15a, 16a, Taf. IV. und 14a, Taf. V. Die auf dasselbe wirkende magnetische Kraft fällt also in die Ebene der magnetischen Curve, nach *MP*. In den Fällen 14a, 15a, Taf. IV. und 14a, Taf. V. treibt diese Kraft das erste Stromelement, parallel mit sich selbst, nach der Mitte der Elektrode hin, wo sich in den beiden ersten Fällen zwei durch einen nicht erleuchteten schmalen Streifen getrennte freie Spiralen bilden, in dem dritten Falle eine einzige schöne bandförmige Spirale. In der Mitte wirkt die magnetische Kraft *MP* in sämmtlichen Fällen senkrecht gegen die Elektrode und bringt keine Verschiebung hervor (Fig. 14a, Taf. V). In den Fällen 13a und 16a treibt die magnetische Kraft *MP* jedes erste Stromelement nach dem zunächst liegenden Ende der Elektrode hin; die Spiralen an den beiden Enden werden gegen die Glaswandung gedrückt.

In allen Fällen war die positive Elektrode durch eine dunkle Stelle von dem eine Spitze bildenden Anfange der Spiralen getrennt, und diese breiteten sich immer mehr und mehr aus, ohne indess ihr Licht mit dem Lichte der magnetischen Fläche zu vermischen.

166) Das positive Licht wird in den vier Fällen der Fig. 1, 2, 3 und 5, Taf. V., nach einem einzigen Ende der bezüglichen Elektrode hingedrängt und fliesst von da in einer epibolischen Curve ruhig zu

dem entsprechenden Ende der negativen Elektrode über. In den auf die drei ersten Fälle sich beziehenden Figuren 1a, 2a und 3a ist M irgend ein Punkt der auf der Ebene des Papiers senkrechten positiven Elektrode, und NS wiederum die durch diesen Punkt gehende magnetische Curve. Die Richtung des ersten Stromelements liegt in der Ebene der Curve und ist MR. In den Fällen 1a und 2a, wo es nicht schon auf dieser Curve senkrecht steht, ist es, nach dieser Curve senkrecht zerlegt, MR'. Die magnetische Kraft, die wir früher MP genannt haben, wirkt in allen Fällen senkrecht gegen die Ebene der Curve und des Stromelements, also nach der Richtung der positiven Elektrode, in den Fällen 1a und 3a nach vorne, in dem Falle 2a nach hinten. In dem vierten Falle, auf welchen Fig. 5a sich bezieht, ist CD die positive Elektrode, und M ein Punkt derselben, durch welchen die magnetische Curve NS geht, das erste Stromelement MR ist nach hinten gerichtet, nach der parallelen negativen Elektrode, die magnetische Kraft MP nach oben, so dass alles positive Licht nach dem Elektrodenendpunkte C getrieben wird.

167) Ein Fall, in welchem das positive Licht nach einem Endpunkte der bezüglichen Elektrode hingedrängt wird, hier aber keine epibolische Curve findet, die es bis zur negativen Elektrode hin leiten könnte, was ein schliessliches Ueberfluthen zur nothwendigen Folge hat, ist unter andern der Fall der Doppelfigur 9, Taf. V. In der zugehörigen Fig. 9a ist CD die negative Elektrode, die positive AB steht senkrecht auf der Ebene des Papiers in dem Punkte M, den Endpunkt A nach oben gerichtet. Alle ersten Stromelemente MR liegen offenbar in derjenigen Ebene, die durch die positive Elektrode und durch die Mitte der negativen geht; da diese Ebene alle durch die positive Elektrode gehenden magnetischen Curven rechtwinklig schneidet, liegen in ihr ebenfalls die auf die ersten Stromelemente MR wirkenden magnetischen Kräfte MP. Das erste Stromelement MR ist immer, wo auch der Punkt M angenommen werden mag, der negativen Elektrode zugekehrt, und dabei, je nachdem dieser Punkt oberhalb der Mitte der positiven Elektrode oder unterhalb derselben liegt, zugleich nach unten oder nach oben gerichtet. Die auf MR senkrechte magnetische Kraft MP ist immer nach oben gerichtet und drängt somit alles positive Licht nach dem oberen Elektrodenendpunkte A. Auf die nach oben gedrängten ersten Stromelemente wirkt die magnetische Kraft MP zugleich der negativen Elektrode zugekehrt. Darin liegt die vollständige Erklärung der Erscheinung, dass nicht nur von der epibolischen Curve AE aus, sondern auch von dem leuchtend bleibenden anliegenden Theile der Elektrode selbst Licht überfluthet.

168) Wenn in dem Falle, dass das positive Licht von einem einzigen Punkte aus sich ergiesst, die durch diesen Punkt gehende *magnetische Curve*, in dem Falle, dass das positive Licht von allen Punkten einer tiefer in die Kugel hineinreichenden Elektrode ausgeht, die durch diese Elektrode gehende *magnetische Fläche der negativen Elektrode begegnet*, so geht das positive Licht in das Licht der Curve oder Fläche auf. Man möchte sagen, dem unter dem Conflicte verschiedener Kräfte seinen Weg suchenden positiven Lichte wird dieser Weg durch das negative Licht, das den seinigen auf magnetischen Curven unmittelbar findet, angebahnt. (Fig. 7, 8, 17, 18, Taf. IV. und Fig. 4, 11, 12, 13, Taf. V.)

169) Wenn in dem Falle von parallelen durchgehenden Elektroden die beiden entsprechenden magnetischen Flächen in die durch dieselben gehende Ebene fallen, und überdies die positive Elektrode von der der negativen Elektrode entsprechenden leuchtenden magnetischen Fläche *nicht* geschnitten wird, so liegen die ersten Stromelemente sämmtlich in dieser Ebene, und die gegen die Elektrode immer senkrecht gerichtete magnetische Kraft bringt auf dieser keine Verschiebung jener Stromelemente hervor, so dass eine etwaige Ansammlung des positiven Lichtes an bestimmten Stellen fremden Ursachen, namentlich einer Erwärmung des Drahtes und einer Annäherung der magnetischen Lichtfläche an denselben zuzuschreiben ist. Der positive Strom, dessen erstes Element senkrecht gegen die Ebene der beiden Elektroden abgestossen wird, geht, ohne eine Spirale zu bilden, auf der einen oder anderen Seite dieser Ebene, immer mehr sich ausbreitend, in einem Bogen zu der negativen Elektrode hinüber. (Fig. 19, Taf. IV.)

Wenn in dem Falle gekreuzter Elektroden die magnetische Fläche, welche durch die positive Elektrode geht, eine ebene Fläche ist, die zugleich durch die Mitte der negativen Elektrode geht, und überdies die durch die letztgenannte Elektrode gehende leuchtende magnetische Fläche die positive Elektrode nicht schneidet, so findet ein ganz analoges Verhalten des positiven Lichtes statt, das auch hier in Bogen auf der einen oder anderen Seite der oben bestimmten Ebene überströmt. (Fig. 8, Taf. V.)

170) Aus der Gesammtheit der bisherigen Beobachtungen gewinnen wir bis jetzt über den Vorgang der elektrischen Entladung in unseren gasverdünnten Räumen die folgenden allgemeinen Anschauungen. Die positive Elektricität ist es, die hier den Weg bis zur negativen Elektrode macht: an dieser Elektrode hat die Ausgleichung der beiden Elektricitäten chemische Wirkung und Wärmeentwicklung zur Folge,

und hierin wiederum liegt wahrscheinlich der Grund zur Bildung der durch die negative Elektrode gehenden magnetischen Lichtfläche. Die Gesetze, nach welchen der Magnet auf ein Stromelement, das an einen metallischen Leiter gebunden ist, wirkt, finden unmittelbare Anwendung auf das erste Element des Entladungsstromes und bestimmen so die Bahn dieses Stromes. Die in den Kugeln oder Röhren zurückgebliebenen Gasspuren sind die alleinigen Träger des Stromes und geben sich in der Analyse durch das Prisma in schönster Weise kund, die mit Bestimmtheit nachweist, dass keine von den Elektroden übergeführte Partikel der Elektroden der Grund des Leuchtens des Stromes sind. Das sogenannte negative Licht, welches sich unter der Einwirkung des Magneten zu magnetischen Flächen zusammenlegt, unterscheidet sich von dem positiven Lichte wahrscheinlich dadurch, dass es in sich zurückkehrende Ströme bildet, und nicht bloss die Spuren des jedesmaligen Gases, sondern auch andere ponderable Materie zu Trägern hat. Letzteres ist uns durch die vorläufige Analyse des Spectrums bereits angezeigt.

171) Es ist nicht zu übersehen, dass ich hier nur von der elektrischen Entladung in solchen Kugeln oder Röhren gesprochen habe, die so weit evacuirt sind, als es überhaupt durch eine gute Luftpumpe geschehen kann. Unter anderen Verhältnissen treten ganz andere Erscheinungen auf. Wenn wir *einerseits* zur Darstellung eines vollkommeneren Vacuums auch noch chemische Mittel, die zum Theil durch den Entladungsstrom selbst geboten sind, zur Anwendung bringen, so erlischt allmählig der Strom. Ich erwähne hier zweier Kugeln mit Elektroden von Messing, die eine ursprünglich mit schwefliger Säure, die andere mit Bromdampf gefüllt. Nachdem das Licht im Innern der Kugel kaum mehr sichtbar war, trat die schöne *grüne* Färbung des Glases (diese Färbung ist in dem Falle von bleihaltigem Glase eine *blaue*) immer mehr hervor und verbreitete sich gleichmässig über die ganze Kugel.*) Unter der Einwirkung des Magneten zog sich das grüne Licht an denjenigen Stellen zusammen, in welchen die durch die negative Elektrode gehenden magnetischen Flächen auf der inneren Glaswandung aufstanden. Auch Spiralen des positiven Lichtes zeichneten sich sehr bestimmt in grünem Lichte auf der Glaswandung. Auch nachdem das grüne Licht, das wie ein Schleier sich über die ganze Kugel verbreitete, durch den Magnet sich auf einzelnen Stellen

*) Mannigfaltige Beobachtungen von Erscheinungen dieser Art, die, wie ich nun nicht mehr zweifle, der Fluorescenz des Glases zuzuschreiben sind, bleiben einer besonderen Mittheilung vorbehalten. [Eine solche ist nicht erschienen.]

168) Wenn in dem Falle, dass das positive Licht von einem einzigen Punkte aus sich ergiesst, die durch diesen Punkt gehende *magnetische Curve*, in dem Falle, dass das positive Licht von allen Punkten einer tiefer in die Kugel hineinreichenden Elektrode ausgeht, die durch diese Elektrode gehende *magnetische Fläche der negativen Elektrode begegnet*, so geht das positive Licht in das Licht der Curve oder Fläche auf. Man möchte sagen, dem unter dem Conflicte verschiedener Kräfte seinen Weg suchenden positiven Lichte wird dieser Weg durch das negative Licht, das den seinigen auf magnetischen Curven unmittelbar findet, angebahnt. (Fig. 7, 8, 17, 18, Taf. IV. und Fig. 4, 11, 12, 13, Taf. V.)

169) Wenn in dem Falle von parallelen durchgehenden Elektroden die beiden entsprechenden magnetischen Flächen in die durch dieselben gehende Ebene fallen, und überdies die positive Elektrode von der der negativen Elektrode entsprechenden leuchtenden magnetischen Fläche *nicht* geschnitten wird, so liegen die ersten Stromelemente sämmtlich in dieser Ebene, und die gegen die Elektrode immer senkrecht gerichtete magnetische Kraft bringt auf dieser keine Verschiebung jener Stromelemente hervor, so dass eine etwaige Ansammlung des positiven Lichtes an bestimmten Stellen fremden Ursachen, namentlich einer Erwärmung des Drahtes und einer Annäherung der magnetischen Lichtfläche an denselben zuzuschreiben ist. Der positive Strom, dessen erstes Element senkrecht gegen die Ebene der beiden Elektroden abgestossen wird, geht, ohne eine Spirale zu bilden, auf der einen oder anderen Seite dieser Ebene, immer mehr sich ausbreitend, in einem Bogen zu der negativen Elektrode hinüber. (Fig. 19, Taf. IV.)

Wenn in dem Falle gekreuzter Elektroden die magnetische Fläche, welche durch die positive Elektrode geht, eine ebene Fläche ist, die zugleich durch die Mitte der negativen Elektrode geht, und überdies die durch die letztgenannte Elektrode gehende leuchtende magnetische Fläche die positive Elektrode nicht schneidet, so findet ein ganz analoges Verhalten des positiven Lichtes statt, das auch hier in Bogen auf der einen oder anderen Seite der oben bestimmten Ebene überströmt. (Fig. 8, Taf. V.)

170) Aus der Gesammtheit der bisherigen Beobachtungen gewinnen wir bis jetzt über den Vorgang der elektrischen Entladung in unseren gasverdünnten Räumen die folgenden allgemeinen Anschauungen. Die positive Elektricität ist es, die hier den Weg bis zur negativen Elektrode macht: an dieser Elektrode hat die Ausgleichung der beiden Elektricitäten chemische Wirkung und Wärmeentwicklung zur Folge,

und hierin wiederum liegt wahrscheinlich der Grund zur Bildung der durch die negative Elektrode gehenden magnetischen Lichtfläche. Die Gesetze, nach welchen der Magnet auf ein Stromelement, das an einen metallischen Leiter gebunden ist, wirkt, finden unmittelbare Anwendung auf das erste Element des Entladungsstromes und bestimmen so die Bahn dieses Stromes. Die in den Kugeln oder Röhren zurückgebliebenen Gasspuren sind die alleinigen Träger des Stromes und geben sich in der Analyse durch das Prisma in schönster Weise kund, die mit Bestimmtheit nachweist, dass keine von den Elektroden übergeführte Partikel der Elektroden der Grund des Leuchtens des Stromes sind. Das sogenannte negative Licht, welches sich unter der Einwirkung des Magneten zu magnetischen Flächen zusammenlegt, unterscheidet sich von dem positiven Lichte wahrscheinlich dadurch, dass es in sich zurückkehrende Ströme bildet, und nicht bloss die Spuren des jedesmaligen Gases, sondern auch andere ponderable Materie zu Trägern hat. Letzteres ist uns durch die vorläufige Analyse des Spectrums bereits angezeigt.

171) Es ist nicht zu übersehen, dass ich hier nur von der elektrischen Entladung in solchen Kugeln oder Röhren gesprochen habe, die so weit evacuirt sind, als es überhaupt durch eine gute Luftpumpe geschehen kann. Unter anderen Verhältnissen treten ganz andere Erscheinungen auf. Wenn wir *einerseits* zur Darstellung eines vollkommeneren Vacuums auch noch chemische Mittel, die zum Theil durch den Entladungsstrom selbst geboten sind, zur Anwendung bringen, so erlischt allmählig der Strom. Ich erwähne hier zweier Kugeln mit Elektroden von Messing, die eine ursprünglich mit schwefliger Säure, die andere mit Bromdampf gefüllt. Nachdem das Licht im Innern der Kugel kaum mehr sichtbar war, trat die schöne *grüne* Färbung des Glases (diese Färbung ist in dem Falle von bleihaltigem Glase eine *blaue*) immer mehr hervor und verbreitete sich gleichmässig über die ganze Kugel.*) Unter der Einwirkung des Magneten zog sich das grüne Licht an denjenigen Stellen zusammen, in welchen die durch die negative Elektrode gehenden magnetischen Flächen auf der inneren Glaswandung aufstanden. Auch Spiralen des positiven Lichtes zeichneten sich sehr bestimmt in grünem Lichte auf der Glaswandung. Auch nachdem das grüne Licht, das wie ein Schleier sich über die ganze Kugel verbreitete, durch den Magnet sich auf einzelnen Stellen

*) Mannigfaltige Beobachtungen von Erscheinungen dieser Art, die, wie ich nun nicht mehr zweifle, der Fluorescenz des Glases zuzuschreiben sind, bleiben einer besonderen Mittheilung vorbehalten. [Eine solche ist nicht erschienen.]

concentrirt hatte, erschien das Licht im Innern der Kugeln immer noch sehr blass.

Das sämmtliche Licht verschwand vollständig, wenn man die Kugel mit der Hand anfasste; es verschwand zuweilen auch, wenn die Kugel auf dem Elektromagneten auflag, sobald dieser erregt wurde.

172) Wenn *andererseits* das Gas in der Kugel allmählig dichter wird, so nimmt die Ausbreitung des elektrischen Lichtes in derselben immer mehr zu. Das negative Licht tritt an derjenigen Stelle seiner Elektrode auf, die der positiven Elektrode zugekehrt ist, und kommt dem positiven Lichte, das den ganzen Weg zurücklegt, nur wenig entgegen, ohne sich mit demselben zu vermischen. Der Magnet hat nicht Kraft genug, um das negative Licht zu einer magnetischen Lichtfläche auszubreiten. Seine Einwirkung auf das positive Licht bietet Erscheinungen dar, die von den seither beschriebenen sich dadurch wesentlich unterscheiden, dass das Licht sich weniger zerstreut. Nehmen wir beispielsweise den Fall der Fig. 14, Taf. V., so verschwindet die violette Beleuchtung des Verticalkreises, und die frühere Spirale, die eine bandförmige war und zuletzt in ein Ueberfluthen des Lichtes sich auflöste, erhält ein Ansehen, das eine überraschende Aehnlichkeit mit der Erscheinung eines Kometen darbietet, dessen Schweif bei einer Lagenänderung gegen den Magnet hin- und hergeworfen würde.*) Wenn die Dichtigkeit des Gases in der Kugel zuzunehmen fortfährt, so entsteht bald der gewöhnliche Davy'sche Lichtbogen, der einer Ablenkung durch den Magnet immer mehr Widerstand entgegensetzt.

173) Die Erscheinung eines solchen Lichtbogens in immer dichter werdendem Gase complicirt sich durch die allmählig eintretende Ueberführung des Metalles der Elektroden. Die Grundlage einer vollständigen Analyse derselben bildet die Untersuchung seines Spectrums. Schon Herr Ångström hat**), bevor ich die reinen und normalen Spectra verschiedener stark verdünnter, im elektrischen Strome leuchtend werdender Gase erhalten hatte, die merkwürdige Thatsache erkannt, dass, wenn der Davy'sche Bogen in verschiedenen Gasen von gewöhnlicher Dichtigkeit hergestellt wird, in dem Spectrum derselben

*) Wenn, worauf man in neuester Zeit von verschiedenen Seiten zurückkommt, die Erscheinung des Schweifes eines Kometen eine elektrische sein sollte, so fände man hier vielleicht die Art und Weise veranschaulicht, wie das elektrische Licht auftritt und unter den mannigfaltigsten Modificationen magnetischen Kräften gehorcht. Doch fehlt einstweilen noch jede physikalische Basis für eine solche Erklärung.

**) Pogg. Ann. Bd. 94, S. 145. 1855.

gleichzeitig das übergeführte Metall der Elektrode und das jedesmalige Gas sich kundgiebt. In einer folgenden Mittheilung werde ich die von mir in einer früheren nach neuen Gesichtspunkten eingeleitete Frage der elektrischen Spectra wieder aufnehmen, und würde dies bereits jetzt gethan haben, wenn nicht bei der vielseitigen Wichtigkeit der Frage genaue Messungen unumgänglich nothwendig geworden wären.

36.

Ueber die Constitution der elektrischen Spectra der verschiedenen Gase und Dämpfe.

(Annalen der Physik und Chemie, Bd. 107, S. 497—539 und 638—644. 1859.)

174) Je weiter ich, durch die seltene Kunstfertigkeit des Hrn. Geissler unterstützt, in die Untersuchung der schönen und mannigfaltigen elektrischen Spectra der verschiedenen Gase und Dämpfe einging, desto mehr nahm in meinen Augen die physikalische Bedeutung derselben zu. Dadurch wurde ich schliesslich bestimmt, in genaue Messungen einzugehen. Zwei Motive machten sich hierbei besonders geltend. Ich hatte einerseits bereits die Ueberzeugung gewonnen, und die gegenwärtige Mittheilung wird dazu die weiteren Belege geben, dass die neuen hellen Linien der Gasspectra auf dunklem Grunde die Fraunhofer'schen dunklen Linien des Sonnenspectrums in allen jenen Anwendungen, welche sowohl den theoretischen dioptrischen Untersuchungen eine früher unerreichbare Genauigkeit gegeben, als auch die technische Optik in ein neues Stadium geführt haben, mit Vortheil ersetzen. Die Beobachtung der neuen Lichtlinien gestattet bei viel grösserer Leichtigkeit die gleiche Genauigkeit. Wir können ihnen nach Belieben die Feinheit der Fraunhofer'schen Linien so wie auch eine Breite von mehreren Minuten geben, ohne durch die Verbreiterung derselben ihre Intensität zu schwächen. Die Ablenkung der Mitte eines solchen Streifens ist unabhängig von seiner Breite, es ist die Ablenkung der entsprechenden unendlich schmalen Lichtlinie selbst. Die neuen Lichtlinien treten unter Verhältnissen auf, bei unvollkommen durchsichtigen Prismen zum Beispiel, wo an eine Beobachtung der Fraunhofer'schen Lichtlinien nicht zu denken ist. Eine Gasröhre, die im Laufe der Zeit unverändert bleibt, und durch welche wir in jedem Augenblicke den Ruhmkorff'schen Apparat entladen können, macht uns unabhängig von der Sonne und giebt uns ein hell leuchtendes Spectrum statt eines blendenden.

Andererseits wird die Natur des Gases und seine chemische Veränderung durch die Lichtlinien seines Spectrums in charakteristischer Weise angezeigt. Darüber habe ich Andeutungen bereits früher mitgetheilt und ich gedenke später auf diesen Gegenstand zurückzukommen. Aber um hier vor Fehlschlüssen sich vollkommen sicher zu stellen, ist es unumgänglich nothwendig, die Lage der Lichtlinien, die den verschiedenen Gasen eigenthümlich sind, in den Spectra derselben mit grösster Genauigkeit zu kennen. Dann ist das Vorhandensein eines Gases durch eine seiner Linien mit Bestimmtheit nachgewiesen, und sichere Mittel sind uns geboten, mannigfaltige Fragen über die chemische Constitution von Gasen und Dämpfen zu beantworten. In der gegenwärtigen Mittheilung werde ich auf solche Fragen nicht eingehen, sondern mich bloss mit der rein physikalischen Frage beschäftigen.

175) Um ein möglichst reines Spectrum zu erhalten, richtet man nach Fraunhofer das achromatische Fernrohr eines Theodoliten auf einen entfernten engen Spalt des Heliostaten, so dass man von demselben ein deutliches Bild erhält. Stellt man dann vor dem Objectiv des Fernrohrs ein Prisma auf, dessen brechende Kante dem Spalte parallel ist, und lässt auf dasselbe durch diesen das directe Licht der Sonne oder einer hellen Wolke fallen, so tritt nach gehöriger Drehung des Fernrohrs im Brennpunkte desselben an die Stelle des früheren Spaltbildes das Spectrum. Bei der Anwendung des Babinet'schen Goniometers ist statt des entfernten Spaltes auf dem Rande des getheilten Kreises, um dessen Mittelpunkt das Fernrohr sich bewegt, ein Spalt befestigt, und hinter demselben eine achromatische Linse so angebracht, dass er im Brennpunkt derselben sich befindet. Die von dem erleuchteten Spalte ausgehenden Strahlen fallen hiernach, nachdem sie durch die Linse gegangen sind, unter sich parallel auf das Prisma und durch dieses abgelenkt auf das Fernrohr auf. Auf diese Weise ist der Spalt für den Beobachter gleichsam unendlich weit gerückt. Das Prisma ist auf einem Tischchen in der Mitte des getheilten Kreises befestigt und kann vermittelst einer Alhidade unabhängig von dem Fernrohr um diese Mitte gedreht werden.

176) Bei meinen Untersuchungen über Gasspectra bediente ich mich anfänglich eines Fraunhofer'schen Fernrohrs, vor dessen Objectiv das Flintglasprisma in der günstigsten Stellung für die hellsten Strahlen des Spectrums befestigt war, und ersetzte den entfernten feinen Spalt, durch welchen das Sonnenlicht einfiel, durch eine evacuirte Thermometerröhre, durch welche ich die Entladung des Ruhmkorff'schen Apparates leitete, die, indem sie in dem engen Kanale der Röhre sich concentrirte, an Helligkeit zunahm. Die spätern Beobachtungen und

Messungen, über welche ich in der gegenwärtigen Mittheilung berichten werde, wurden sämmtlich mit einem Babinet'schen Goniometer angestellt. Der getheilte Kreis desselben hatte 22^{cm} im Durchmesser; er gab unmittelbar Drittelgrade und durch Hülfe des Nonius halbe Minuten. Das Fernrohr wurde zunächst auf einen entfernten Gegenstand eingestellt und dann auf den Spalt gerichtet, und dieser in dem Rohre, das ihn und nach der Seite des Fernrohrs hin zugleich die achromatische Linse trug, soweit ausgezogen, bis man von demselben ein scharfes Bild erhielt. Der Spalt konnte enger und weiter gemacht werden. Vor demselben wurde die Geissler'sche Röhre mit ihrem engen Theile aufgestellt. Auf die Entfernung beider kommt es wesentlich nicht an. In der Regel betrug dieselbe 12 bis 15^{mm}, doch wurde die Röhre, um grössere Lichtstärke zu erzielen, dem Spalte zuweilen auch ganz nahe gebracht. Das Prisma wurde dann auf dem Tischchen in der Mitte, das durch die Stellschrauben gerichtet werden konnte, befestigt.

177) Wenn wir das Fernrohr auf den mehr oder weniger engen Spalt richten, so geht durch denselben direktes Licht, das von der davor befindlichen Lichtquelle ausgeht, ohne sich zu einem Bilde zu vereinigen, dieses Licht füllt gewissermaassen denjenigen Raum aus, der das scharfe Bild der durch die Lichtquelle erleuchteten Ränder des Spaltes ist. Darum ist es bei Anwendung des Babinet'schen Goniometers im Wesentlichen gleichgültig, ob die Lichtquelle schmäler oder breiter ist und wo dieselbe sich befindet, ob nahe dem Spalt oder weiter davon entfernt.

178) Wenn das Prisma zwischen Spalt und Fernrohr gebracht wird, und die Lichtquelle nur Strahlen von derselben Brechbarkeit aussendet, so wird das Bild des Spaltes abgelenkt, und seine Breite bleibt dieselbe als vor der Ablenkung durch das Prisma. Wenn wir umgekehrt in dem Spectrum einen isolirten Streifen von der Breite des Spaltes beobachten, so schliessen wir daraus rückwärts, dass die Lichtquelle Strahlen von der bezüglichen absoluten Brechbarkeit aussendet, dass aber Strahlen, deren Brechbarkeit bis zu gewissen Grenzen kleiner oder grösser ist, nicht vorhanden sind. Es findet dieses in den Fällen der elektrischen Gasspectra fast überall seine Anwendung, wo auf schwarzem oder mehr oder weniger dunklem Hintergrunde Streifen von der Breite des Spaltes auftreten, die scharf begrenzt und oft von blendender Helligkeit sind. Das auffallendste Beispiel hiervon liefert, wie früher schon [Abhandl. 34, Nr. 102] von mir besprochen worden ist, das Wasserstoffgas. Das elektrische Licht desselben löst sich fast ausschliesslich in Licht von dreifacher Brechbarkeit auf, und dement-

sprechend zerfällt das Spectrum in einen blendend rothen, einen annäherungsweise gleich schönen bläulich grünen und in einen blassen violetten Streifen. (Siehe später.)

179) Wenn wir die Breite des Spaltes ändern, so ändert sich in gleichem Verhältnisse die Breite des direkten oder des durch das Prisma abgelenkten Bildes, ohne dass in Folge der Verbreiterung oder Verengerung die Intensität des Lichtes wechselt. Wenn hierbei die Mitte des Spaltes dieselbe bleibt, so bleibt es auch die Mitte des Bildes. Es ist also kein Grund vorhanden, die Weite des Spaltes zu sehr zu vermindern, wodurch das Licht zu sehr geschwächt werden würde. Wenn wir den Abstand der Mitten des direkten und des abgelenkten Bildes (der farbigen Streifen im Spectrum) messen, so erhalten wir genau dieselben Ablenkungen, als wenn alle Bilder, bei unendlich engem Spalte, sich auf mathematische Linien reducirt hätten. In Folge vielfältiger Versuche bin ich für die gewöhnlichen Beobachtungen bei einer Spaltbreite von drei Minuten stehen geblieben. Bei der scharfen Begrenzung der eben so breiten Streifen im Spectrum machen wir dann in der Bestimmung der Mitten derselben unmerkliche Ablesungsfehler.

180) Nach dem Vorstehenden kann keiner der Streifen in den verschiedenen Gasspectra schmäler erscheinen, als das Bild des Spaltes, und damit sind auch die Beobachtungen in Uebereinstimmung.*) Breitere Streifen werden häufig beobachtet, *aber in den meisten Fällen lösen sich diese bei Verengerung des Spaltes in Streifen von einfacher Breite auf*, die durch schwarze oder graue Streifen von einander getrennt sind.

Es betrage die Breite des Spaltes n, die Breite des beobachteten Streifens m Minuten. Wenn alsdann $m < 2n$ [und $> n$], so überlagern sich zwei Streifen von einfacher Breite, und die Breite der Ueberlagerung beträgt $(2n - m)$ Minuten. Diese Ueberlagerung, die im Allgemeinen sehr schwer wahrnehmbar ist, stellt sich in vielen Fällen als eine *hellere* Linie dar, wobei es aber sehr auf die genaue Einstellung des Fernrohrs und die richtige Ajustirung des Auges ankommt (das eine solche Linie bei grosser Lichtstärke bald hell, bald dunkel sieht). Wenn die Breite des Spaltes abnimmt, und m gleich $2n$ wird, so bilden zwei einfache, sich berührende Streifen einen einzigen Streifen von

*) Anders verhält es sich, wenn wir ohne Anwendung eines Spaltes das Fernrohr auf eine entfernte Geissler'sche Röhre richten. Wenn hier, wie es öfter der Fall ist, erleuchtete Partikel durch die enge Röhre sich bewegen, so sieht man schmale Lichtlinien innerhalb des breiteren Bildes der Röhre und der entsprechenden Streifen des Spectrums.

doppelter Breite. Wenn die Breite des Spaltes abzunehmen fortfährt, wonach $m > 2n$, so treten zwei Streifen von der einfachen Breite von n Minuten ganz auseinander, indem sie durch eine dunkle Linie von $(m - 2n)$ Minuten Breite getrennt werden, während der von der Weite des Spaltes unabhängige Abstand ihrer Mitten $(m - n)$ Minuten beträgt. Wenn hiernach beispielsweise bei einer Oeffnung des Spaltes von 3′ ein heller Streifen des Spectrums 5′ breit erscheint, so wäre er als ein System von zwei Streifen einfacher Spaltbreite anzusehen, deren Mitten 2′ von einander abstehen, und die sich 1′ breit überlagern. Verengt sich der Spalt auf 2′, so erhält der Streifen die doppelte Breite von 4′. Dieser löst sich, wenn die Breite des Spaltes sich auf 1′ reducirt, in zwei Streifen von eben dieser Breite auf, die durch eine gleich breite dunkle Linie getrennt sind. Bei immer abnehmender Breite des Spaltes nähern wir uns der Grenze, wo zwei mathematische Lichtlinien in einem gegenseitigen Abstande von 2′ auftreten.

Die merkwürdigsten Beispiele in dieser Beziehung liefert der blauviolette Theil des Spectrums des Stickstoffgases; wir verweisen auf die nachfolgende Messung und Beschreibung dieses Spectrums.

181) Vom theoretischen Gesichtspunkte aus würde auch dem Auftreten *von einfachen hellen Streifen des Spectrums, die mehr als Spaltbreite haben*, nichts entgegenstehen. Solche Streifen würden ihre vollständige Erklärung in der Annahme finden, dass die Lichtquelle Strahlen von annähernd gleicher Intensität aussendet, deren Brechungs-Coëfficienten innerhalb zweier engerer Grenzen, denen ein Unterschied in der Ablenkung von $(m - n)$ Minuten entspricht, continuirlich wachsen, während Strahlen, deren Brechungs-Coëfficienten jene Grenzen überschreiten, auf beiden Seiten fehlen. Die Breite der Streifen dieser Art müsste, wenn der Spalt immer enger würde, abnehmen und bei unendlich engem Spalte auf $(m - n)$ Minuten sich reduciren.

182) Der Hintergrund des Spectrums, auf welchem die hellen farbigen Streifen erscheinen, ist nur in selteneren Fällen und nur stellenweise absolut schwarz. Er hat zuweilen eine schwach hervortretende, der jedesmaligen Stelle entsprechende Färbung. Oft ist keine bestimmte Farbe zu erkennen, und es tritt ein gewisses Grau auf, das man sich durch eine fortwährende Intensitätsabnahme einer prismatischen Farbe nur unter der Voraussetzung erklären kann, dass der Lichteindruck auch dann noch stattfindet, wenn die Unterscheidung von Farbe für das Auge bereits aufgehört hat. In seltenen Fällen ist der Hintergrund mit der bezüglichen Farbe heller gefärbt (namentlich in dem weniger brechbaren Theile des Spectrums der Kohlensäure und

dem schön grünen Theile des Stickstoffgas-Spectrums), und die Färbung schattirt sich dann verschiedenartig, oft von schwarzen Grenzen ausgehend, ab. Auf einem solchen Hintergrunde treten gewöhnlich dunkle Linien auf. Ohne Analogie in den Gasspectra ist der rothe, orangefarbige und gelbe Theil des Spectrums des Stickstoffgases mit seinen gleich weit von einander abstehenden dunklen Linien (201).

183) Ein Spectrum, in welchem jeder hellen Transversallinie Licht von bestimmter absoluter Brechbarkeit und gegebener Intensität entspricht, und jede dunkle Transversallinie fehlendes Licht von der bezüglichen absoluten Brechbarkeit anzeigt, ist eine ideale Vorstellung, der wir uns in der Beobachtung nur entfernt annähern können. Ein solches normales elektrisches Spectrum für die verschiedenen Gase besteht nach dem Vorstehenden, wenn wir von dem stark zurücktretenden Hintergrund absehen, aus einer bestimmten Anzahl von der Natur des Gases abhängiger und auf die ganze Länge verschieden vertheilter Lichtlinien. Für eine Reihe von Gasen und Dämpfen haben wir in dem Nachstehenden die dieselben charakterisirenden Lichtlinien bestimmt. Keine dieser Linien hat eine nachweisbare Breite.

184) Wenn die Brechbarkeit des Lichts von dem einen Ende des Spectrums zu dem anderen continuirlich zunähme, so würden sich in demselben unendlich viele Bilder von der scheinbaren Breite des Spaltes überlagern, deren jedes einer bestimmten Farbe von absoluter Brechbarkeit entspräche. Beim Durchgange durch ein absorbirendes Medium wird Licht von bestimmter Brechbarkeit ganz oder theilweise ausgelöscht. Wenn alles Licht ausgelöscht würde bis auf Licht von einer dreifachen absoluten Brechbarkeit, so würden, wie in dem Falle des Wasserstoffgases, drei Streifen das ganze Spectrum ausmachen. Aber ein wesentlicher Unterschied bleibt. Wenn nämlich das Licht des leuchtenden Wasserstoffgases sich in ein continuirliches Spectrum auflösen, und dann alles Licht von einer anderen als der dreifachen Brechbarkeit absorbirt werden sollte, so würden die drei übrigbleibenden Streifen des Spectrums eine unendlich geringere Intensität haben, als die wirklich beobachteten. Hiernach gewinnen wir die Auffassung, dass das Licht von der bestimmten Brechbarkeit gewissermaassen auf Kosten des fehlenden Lichtes seine Intensität erhalten habe.

185) In gewissen Fällen, z. B. im Violetten des Stickstoffspectrums, haben die dunklen und schwarzen Linien, welche die Grenzen heller Räume bilden, ihre vollständige theoretische und experimentale Erklärung gefunden (180). Ich zweifle aber, ob diese Erklärung unmittelbar auf die Entstehung der Fraunhofer'schen Linien angewendet werden kann. Wäre das normale Sonnenspectrum ein im Allgemeinen

continuirliches, das nur an gewissen Stellen verhältnissmässig schmale Unterbrechungen hätte, bestände es aus schwarzen Linien auf hellem Grunde, während die normalen Gasspectra im Allgemeinen aus hellen Linien auf dunklem Grunde bestehen, so würde das Auftreten einer schwarzen Linie im beobachteten Sonnenspectrum nach der obigen Anschauung für die entsprechende dunkle Linie des Normalspectrums eine Breite fordern, welche die Breite des Spaltes überträfe, und es könnte ein von zwei schwarzen Linien eingefasster heller Streifen in dem beobachteten Spectrum nicht schmaler sein, als der Spalt, dessen sich überlagernde farbige Bilder durch das Prisma hindurch im Fernrohre beobachtet werden. Aber Fraunhofer gab dem Spalte eine Breite von nahe 12″, Herr Baden-Powell von 72″*) Oeffnung, und bei Anwendung eines stark brechenden Prismas von 60° könnte man ihm eine Oeffnung von drei und mehr Minuten geben und man sähe z. B. doch noch die Auflösung der Fraunhofer'schen Linie *b* in ihre beiden dunklen Linien, die einen sehr schmalen hellen Streifen einfassen. Es scheint mir daher wenig wahrscheinlich, dass die obige Vorstellung von dem normalen Sonnenspectrum die richtige ist. Wenn Fraunhofer etwa 600 dunkle Linien beobachtete, von denen er die stärkeren in seiner meisterhaften Zeichnung des Sonnenspectrums darstellte, und diese Zahl später auf einige Tausend anstieg, namentlich bei Verengung des Spaltes und bei Anwendung mehrerer Prismen zur Vermehrung der Dispersion, ist es dann unwahrscheinlich, dass diese Zahl im Normalspectrum auf Millionen ansteigt, dass das Spectrum mit anderen Worten ein discontinuirliches ist? Diese Annahme ist vielleicht nothwendig zur Erklärung der Fraunhofer'schen Linien.[1])

186) In dem Nachstehenden sind die Resultate der Messungen und Beobachtungen einer ersten Reihe von Gas- und Dampfspectra zusammengestellt.

Was ist es, was leuchtet, wenn durch den engen Kanal einer Geissler'schen Röhre, die in möglichst evacuirtem Zustande Gas oder Dampf enthält, die elektrische Entladung hindurchgeht? Es giebt kein elektrisches Licht ohne ponderablen Träger, der leuchtet; *es giebt daher überhaupt kein elektrisches Licht im abstracten Sinne des Wortes.* In dieser Ueberzeugung bin ich durch alle bisherigen Beobachtungen bestärkt worden. Wie wirkt aber hierbei die Elektricität auf das Gastheilchen? Ich denke bloss Wärme erregend. Die Gastheilchen werden glühend. Die dicke Glasmasse des engeren Theiles der Geissler'schen Röhren erwärmt sich sehr merklich, wenn der Entladungsstrom des

---

*) Aus den Angaben in Beer's Optik S. 45 abgeleitet.

Ruhmkorff'schen Apparates durch das Gas in denselben hindurchgeht. Wenn hierbei die Wärme von den zerstreuten Theilchen des Gases, dessen Spannung oft nur durch Bruchtheile eines Millimeters gemessen wird, auf die Masse des Glases sich übertragen und diese merklich erwärmen soll, wie ungemein *stark* muss dann nicht die Erwärmung dieser Theilchen sein.

Wasserstoffgas-Wasserdampf.

187) Vorzugsweise wurden zwei Röhren angewendet, deren Spectra auch bei Bestimmung der Spectra aller übrigen untersuchten Gase und Dämpfe zum Anhaltspunkte dienten. Die erste Röhre war ursprünglich mit Wasser gefüllt, das in der Röhre gekocht wurde, bis es vollständig in Dampf verwandelt worden war, und dieser Dampf in angeblasenen Glasbehältern bei niedriger Temperatur condensirt. Die zweite Röhre wurde mit Wasserstoffgas gefüllt und dann möglichst evacuirt. Die elektrischen Spectra beider Röhren verhielten sich ganz vollkommen gleich. Der Wasserdampf war unzweifelhaft zersetzt, das aus der Zersetzung hervorgegangene Sauerstoffgas hatte sich mit dem Platin der negativen Elektrode verbunden und war als Oxyd zu der inneren Glaswandung übergeführt worden, wo es einen gelben, anfänglich schöne Newton'sche Ringe zeigenden Niederschlag bildete. Nach dem Verschwinden des freien Sauerstoffgases ging reines Platin von der negativen Elektrode zur Glaswandung fortwährend über, und diese wurde schwarz und vollkommen undurchsichtig. Herr Geissler hat bei der Anfertigung seiner Röhren die Erfahrung gemacht, dass, wenn man im Innern derselben die Platin-Elektrode durch eine Aluminium-Elektrode ersetzt, die meistens sehr störende Schwärzung des Theiles der Glaswandung, der die negative Elektrode umgiebt, nicht stattfindet; es scheint, dass das Aluminium nicht übergeführt wird. Die angewandte Wasserstoffgasröhre mit Aluminium-Elektroden ist ganz unverändert geblieben, nachdem durch dieselbe der Strom im Ganzen gewiss länger als vierundzwanzig Stunden hindurchgegangen ist.

Das Licht der elektrischen Entladung durch den engen Theil der Röhre ist ein schönes gesättigtes Roth, in dem weiteren Theile ist es röthlich; die negative Elektrode ist von schön violettem Lichte umgeben. Auf dunklem Hintergrunde — der Hintergrund tritt um so mehr zurück, je reiner das Gas ist — treten drei helle Streifen auf. Wir wollen sie durch α, β und γ bezeichnen und da, wo es sich darum handelt anzuzeigen, dass diese Streifen dem Wasserstoffgase angehören, das chemische Symbol des letzteren voraussetzen. H_α ist ein blendend rother, H_β ein fast ebenso glänzender grünlich blauer Streifen, H_γ ist

violett und schwächer. Da diese drei Streifen des Spectrums in dem Fernrohre unter demselben Winkel erscheinen als das Bild des Spaltes, so zerfällt das elektrische Wasserstoffgaslicht in Licht von einer dreifachen absoluten Brechbarkeit.

188) Es wurde zunächst ebenso wie bei der Bestimmung der übrigen Spectra ein Prisma von schwerem Flintglas, dessen brechender Winkel 59° 56′ betrug, angewendet. Es ergab sich für die Ablenkung φ der Mitten der drei Streifen α, β, γ:

$$\varphi_\alpha = 57^0\ 10{,}5',$$
$$\varphi_\beta = 59^0\ 55{,}5',$$
$$\varphi_\gamma = 61^0\ 43'.$$

Diese Winkelwerthe beziehen sich auf die jedesmalige Minimum-Ablenkung. Wenn wir dann den brechenden Winkel des Prismas durch ω, den Einfallswinkel durch A und den Brechungscoëfficienten durch μ bezeichnen, so ist

$$A = \tfrac{1}{2}(\varphi + \omega),$$
$$\mu = \frac{\sin \tfrac{1}{2}(\varphi + \omega)}{\sin \tfrac{1}{2}\omega}.$$

Für das Licht der drei Streifen im Wasserstoffspectrum erhalten demnach die drei Brechungscoëfficienten die folgenden Werthe:

$$\mu_\alpha = 1{,}7080,$$
$$\mu_\beta = 1{,}73255,$$
$$\mu_\gamma = 1{,}7481.$$

189) Wir können die Stellung des Prismas, die der Minimum-Ablenkung für einen gegebenen Strahl entspricht, leicht finden, wenn wir dasselbe hin- und herbewegen, bis diese Ablenkung erreicht ist. Um hierbei eine sichere Methode zu finden, die uns überhebt, bei jeder einzelnen Beobachtung die Minimum-Stellung des Prismas durch Versuche zu bestimmen, wodurch eine grössere Reihe von Beobachtungen etwas Unbequemes und Discontinuirliches erhalten würde, sind einige nähere Erörterungen nothwendig. Wir können einen doppelten Weg einschlagen; wir können entweder dem Prisma unverändert seine Stellung lassen und die beobachteten Ablenkungen durch Rechnung auf Minimum-Ablenkungen zurückführen, oder bei jeder Beobachtung dem Prisma die richtige Stellung geben. Das letztere Verfahren wird dadurch sehr erleichtert, dass wir nur für *eine* bestimmte Minimum-Ablenkung die Stellung des Prismas zu kennen brauchen, um diese für jede andere Minimum-Ablenkung unmittelbar bestimmen zu können. Denn der Winkel, um welchen das Prisma von einer solchen Ablenkung zu einer anderen gedreht werden muss, ist halb so gross als die Differenz der

beiden Ablenkungswinkel. Hiernach kommt es also hier nur auf die genaue Bestimmung einer einzigen Minimum-Stellung an.

190) Wir wollen von derjenigen Stellung des Prismas ausgehen, für welche ein Strahl von gegebener Richtung eine gegebene Minimum-Ablenkung φ erfährt. Der Einfallswinkel sei A. Wir wollen ferner annehmen, dass ein zweiter Strahl nach derselben Richtung auffalle. Dieser Strahl trete unter dem Brechungswinkel B in das Prisma ein, falle unter dem Winkel B' auf die innere Seite der zweiten Fläche auf und trete endlich unter dem Winkel A' aus dem Prisma wiederum aus. Die beobachtete Ablenkung, die dieser Strahl erleidet, sei Φ', die Minimum-Ablenkung, die er nach gehöriger Drehung des Prismas erleiden würde, Φ, sein Brechungscoëfficient μ'. Dann ergiebt sich

$$\tfrac{1}{2}(\varphi + \omega) = A, \quad \frac{\sin \tfrac{1}{2}(\Phi + \omega)}{\sin \tfrac{1}{2}\omega} = \mu',$$

$$\sin B = \frac{1}{\mu'} \cdot \sin A,$$

$$B' = \omega - B,$$

$$\mu' \sin B' = \sin A',$$

$$A + A' - \omega = A' + \tfrac{1}{2}(\varphi - \omega) = \Phi'.$$

191) Wenn wir beispielsweise von derjenigen Stellung des Prismas ausgehen, für welche der Strahl H_α die Minimum-Ablenkung erfährt, so finden wir für die Strahlen H_β und H_γ die Differenz $\Phi' - \Phi$ bezüglich gleich:

$$3'\,5'' \qquad 9'\,15''.$$

Wenn wir von der Minimum-Stellung für den Strahl H_β ausgehen, so giebt die Rechnung für die Strahlen H_α und H_γ die Differenz $\Phi' - \Phi$ bezüglich gleich

$$2'\,45'' \qquad 1'\,27''.$$

Wenn wir endlich von der Minimum-Stellung für H_γ ausgehen, so wird für die Strahlen H_α und H_β die Differenz $\Phi' - \Phi$ bezüglich gleich

$$7'\,10'' \qquad 1'\,9''.$$

Um diese Zahlen zu verificiren, wurde die folgende Versuchsreihe mit der Wasserstoffgasröhre angestellt. Wenn wir, von der Minimum-Stellung für H_α ausgehend, bezüglich zu der Minimum-Stellung für H_β und H_γ übergehen wollen, so müssen wir die Alhidade, welche unabhängig von dem Fernrohre die Scheibe mit dem Prisma dreht, bezüglich um die Winkel

$$\tfrac{1}{2}(\varphi_\beta - \varphi_\alpha) = 1^0\,22{,}5', \quad \tfrac{1}{2}(\varphi_\gamma - \varphi_\alpha) = 2^0\,16{,}25'$$

fortrücken und zwar in demselben Sinne wie das Fernrohr, wenn das

Fadenkreuz von dem Streifen H_α zu den Streifen H_β und H_γ geführt wird.

Der Nonius des Fernrohrs, das vor Aufstellung des Prismas auf die Mitte des 3′ breiten Spaltes gerichtet war, stand auf

$$172^0\ 38{,}5'.$$

Die entsprechenden Winkel, wenn das Fernrohr für die verschiedenen Minimum-Stellungen auf die drei Streifen gerichtet wurde, waren

Minimum H_α	Alhidade $49^0\ 59'$,
Mitte H_α	$115^0\ 28'$,
„ H_γ	$110^0\ 46{,}5'$,
Minimum H_γ	Alhidade $47^0\ 43'$,
Mitte H_γ	$110^0\ 55{,}5'$,
„ H_β	$112^0\ 42'$,
„ H_α	$115^0\ 21{,}5'$,
Minimum H_α	Alhidade $49^0\ 59'$,
Mitte H_α	$115^0\ 28'$,
„ H_β	$112^0\ 40'$,
Minimum H_β	Alhidade $48^0\ 37'$,
Mitte H_β	$112^0\ 43'$,
„ H_α	$115^0\ 25{,}5'$,
„ H_γ	$110^0\ 54'$.

Aus diesen Beobachtungen leiten sich die folgenden Differenzen $\Phi' - \Phi$ ab:

3′	9′
2,5′	1,5′
6,5′	1′,

die in derselben Aufeinanderfolge als zu Anfang dieser Nummer aufgeführt worden sind. Die Abweichungen liegen ganz oder nahe innerhalb der Grenzen der Beobachtungsfehler.

192) Wenn wir als Ausgangspunkt H_α und demnach $\varphi = 57^0\ 10{,}5'$ nehmen und Φ nach einander auf Winkel beziehen, die von $56^0\ 10{,}5'$ bis $63^0\ 10{,}5'$ durch alle einzelnen Grade hindurch wachsen, so finden wir

$\Phi - \varphi$	$\Phi' - \Phi$
-1^0	18″,
$+1^0$	22″,
2^0	1′ 37″,
3^0	3′ 48″,
4^0	7′ 1″,
5^0	11′ 31″,
6^0	17′ 39″.

Wir machen also in Gemässheit der vorstehenden Zahlen bei der Bestimmung der Minimum-Ablenkung von H_α einen Fehler von nur $1/3$ Minute, wenn wir in der entsprechenden Stellung des Prismas einen Fehler von einem halben Grade machen. Ebenso gross ist der Fehler, den wir begehen, wenn wir bei unveränderter Stellung des Prismas die beobachtete Ablenkung eines Strahles auch dann noch für die Minimum-Ablenkung desselben nehmen, wenn der beobachtete Ablenkungswinkel um einen Grad grösser oder kleiner als φ_α ist. Dieser Fehler beträgt nur einige Sekunden und liegt also ganz innerhalb der Fehlergrenzen unserer Beobachtungen, wenn wir von dem Strahle H_α zu Strahlen übergehen, die nur einen halben Grad mehr oder weniger abgelenkt werden. Bei grösserer Zu- und Abnahme der Ablenkung nimmt aber die Correction der beobachteten Ablenkung, wenn sie auf das Minimum reducirt werden soll, rasch zu.

193) Ausser der Grösse der zu machenden Correction, wenn wir unter Beibehaltung der Minimum-Stellung des Prismas für den Strahl H_α die Ablenkung der brechbarsten Strahlen des Spectrums bestimmen wollen, kommt noch ein zweiter grösserer Uebelstand hinzu. Ein Fehler von $1/2$ Grad etwa in der Minimum-Stellung des Prismas für H_α, der in der Bestimmung der Ablenkung dieses Strahles sich nicht bemerkbar macht, wird bedeutend für Strahlen von namhaft grösserer Brechbarkeit. Für die brechbarsten Strahlen des Spectrums, die etwa 6^0 stärker abgelenkt werden, beträgt der Beobachtungsfehler mehrere Minuten; indem wir dann nämlich statt der Correction für 6^0 eine Correction für $5\frac{1}{2}^0$ oder $6\frac{1}{2}^0$ anbringen, ergiebt sich für die Minimum-Ablenkung etwa 3 Minuten zu viel oder 4 Minuten zu wenig, was 5 bis 6 Einheiten in der vierten Decimale des Brechungscoëfficienten ausmacht. Mit dem bezeichneten Uebelstande ist aber zugleich das Mittel geboten, ihn zu heben und die Minimum-Stellung eines gegebenen Strahles mit Genauigkeit zu erhalten.

Wir wissen zum Beispiel, dass die Minimum-Ablenkung der Strahlen H_α und H_γ bezüglich $57^0\,10{,}5'$ und $61^0\,43'$ beträgt, und in der directen Bestimmung dieser Winkel machen wir keinen Fehler von einer halben Minute. Handelt es sich um die Minimum-Stellung des Prismas für H_α, so bestimmen wir diese nicht direct durch eine Drehung des Prismas, wobei wir einen bedeutenden Fehler machen können, sondern wir stellen das Fernrohr auf die Ablenkung von $61^0\,52'\,15''$, welches genau bis auf $1/2$ Minute die berechnete Ablenkung für den Strahl H_γ ist, wenn vorausgesetzt wird, dass das Prisma die Minimum-Stellung für H_α habe. Um also dem Prisma diese Stellung zu geben, brauchen wir

dasselbe nur so lange zu drehen, bis das Fadenkreuz des Fernrohrs mit der Mitte des Streifens H_γ zusammenfällt.

194) Einfacher noch ist das folgende Verfahren, das nur die Beobachtung eines einzigen Strahles voraussetzt. Ich will dasselbe an einem Beispiele durchführen und wähle dabei die Beobachtung des Strahles H_α.

Wenn wir von einem Strahle, dessen Minimum-Ablenkung $\varphi = 50^0$ 10,5′, also 7^0 kleiner als φ_α ist*), und von der entsprechenden Stellung des Prismas ausgehen, so giebt die Rechnung für die uncorrigirte Ablenkung von H_α

$$\Phi' = 57^0\ 30'\ 46''.$$

Nachdem das Fernrohr auf diese Ablenkung eingestellt ist, drehen wir das Prisma (von seiner angenäherten Minimum-Stellung für H_α aus im Sinne der Abnahme der Winkel φ) so lange, bis das Fadenkreuz des Fernrohrs die Mitte des rothen Wasserstoffgas-Streifens deckt. Dann ist die Minimum-Stellung des Prismas für den Strahl, dessen Minimum-Ablenkung 50^0 10,5′ beträgt, genau erreicht, und wir brauchen nur, im Sinne der Zunahme der Winkel φ, das Prisma um die Hälfte des Winkels von 7^0, also um $3^1/_2{}^0$ zu drehen, um die Minimum-Stellung des Prismas für H_α mit derselben Genauigkeit zu erhalten.

In der nachstehend mitgetheilten Bestimmung der elektrischen Spectra verschiedener Gase und Dämpfe sind wir überall von der so bestimmten Minimum-Stellung des Prismas für den Strahl H_α ausgegangen. Wir haben diese Stellung beibehalten bis $\varphi = 57^0\ 40'$, dann die Alhidade des Prismas 30′ weiter gedreht und in dieser Stellung (die der Minimum-Stellung für $\varphi = 58^0\ 10'$ entspricht) gelassen, bis der Winkel φ $58^0\ 40'$ erreicht, und in ähnlicher Weise, wenn φ $59^0 40'$, $60^0\ 40'$ und so fort bis zum Ende des Spectrums erreicht, die Alhidade jedesmal um 30′ weiter geschoben. Die Stellungen des Prismas weichen hierbei höchstens 30′ von der jedesmaligen Minimum-Stellung ab, und demnach beträgt die Correction, um die beobachteten Ablenkungen auf ihr Minimum zurückzuführen, nur einige Sekunden, was nur auf die 5. Decimale des Brechungs-Coëfficienten Einfluss hat.

195) Wenn in besonderen Fällen es wünschenswerth erscheint, die Stellung des Prismas während einer Reihe von Beobachtungen beizubehalten, so wählen wir für diese Stellung die Minimum-Stellung für die Mitte des grünlich-blauen Wasserstoffstreifens, welche mit der

*) Es ist hierbei gleichgültig, dass dieser Strahl in Wirklichkeit nicht vorhanden ist. Statt von einem Strahle geringerer Brechbarkeit hätten wir auch von einem Strahle grösserer Brechbarkeit zu dem Strahle H_α übergehen können.

Fraunhofer'schen Linie F genau zusammenfällt. Die grössten Unterschiede in der Ablenkung betragen alsdann etwa 3°. Die Rechnung ergiebt die nachstehenden Correctionen:

$\Phi - \varphi_\beta$	$\Phi' - \Phi$
— 3°	3′ 14″,
— 2°	1′ 29″,
— 1°	23″,
+ 1°	25″,
+ 2°	1′ 43″,
+ 3°	4′ 4″,
+ 4°	7′ 35″,

und hieraus mit hinlänglicher Genauigkeit durch Hülfe einer graphischen Darstellung:

$\Phi' - \Phi$	$\Phi - \varphi_\beta$		
0,5′	+ 1° 4′	oder	— 1° 12′,
1′	+ 1° 30′	„	— 1° 39′,
1,5′	+ 1° 51′	„	— 2° 1′,
2′	+ 2° 8′	„	— 2° 20′,
2,5′	+ 2° 23′	„	— 2° 38′,
3′	+ 2° 36′	„	— 2° 54′,
3,5′	+ 2° 48′	„	— 3° 7′,
4′	+ 2° 59′		—

Innerhalb der obigen Grenzen können wir die Correctionen $\Phi' - \Phi$ unmittelbar von dem beobachteten Winkel Φ' abziehen, um die Minimum-Ablenkung Φ zu erhalten.

196) Die Uebereinstimmung in der Ablenkung der Mitten der drei hellen Wasserstoffstreifen α, β, γ und der drei dunklen Fraunhofer'schen Linien C, F, G liess eine genauere Vergleichung beider wünschenswerth erscheinen.[2]) Zu diesem Ende wurde in der dunklen Stube das Babinet'sche Goniometer 9 Meter vom Fensterladen, in welchem der Heliostat angebracht war, aufgestellt. Durch den beliebig zu erweiternden verticalen Spalt des Heliostaten konnte das Sonnenlicht nach horizontaler Richtung auf den Spalt des Instruments, der ebenfalls vertical und 3′ breit war, geleitet werden. Vor diesem letztern wurde zunächst die Wasserstoffröhre aufgestellt, und die Mitte des Fadenkreuzes auf die Mitte des rothen Streifens für das Minimum der Ablenkung gerichtet; der Ablenkungswinkel war der früher gefundene. Hierauf wurde die Röhre seitwärts geschoben, und der Spalt durch das directe Sonnenlicht beleuchtet, wonach das Fernrohr nur um 2′ im

Sinne einer geringeren Ablenkung gedreht zu werden brauchte, um die Mitte des Fadenkreuzes mit der Fraunhofer'schen Linie C zur Deckung zu bringen. Bei analogem Verfahren stellte sich heraus, dass die Fraunhofer'sche Linie F genau mit der Mitte des grünlich blauen Streifens H_β zusammenfällt, und endlich, dass die Abweichung der Fraunhofer'schen Linie G von der Mitte des violetten Streifens H_γ 12,5′ im Sinne einer stärkeren Brechung beträgt. Es ist demnach

	φ	μ
für C	57° 8,5′	1,7077
„ F	59° 55,5′	1,73255
„ G	61° 55,5′	1,7498.

197) Um Resultate zu erhalten, die nicht nur von dem Winkel des jedesmaligen Prismas, sondern auch von der Substanz desselben unabhängig und demnach unmittelbar mit den Messungen anderer Beobachter vergleichbar sind, müssen wir zu den Wellenlängen in der Luft, die den verschiedenen Lichtlinien der Spectra entsprechen, zurückgehen. In der folgenden Tabelle sind für die Winkel kleinster Ablenkung zwischen 57° und 63° 20′ von 10 zu 10 Minuten die nach 188) berechneten Brechungs-Coëfficienten nebst ihren Differenzen [in Einheiten der 5. Decimale] für Minuten, so wie die entsprechenden Wellenlängen [in Millionstel *mm*] nebst Differenzen zusammengestellt.

φ	μ	$\Delta\mu$ für $\Delta\varphi = 1'$	λ	$-\Delta\lambda$ für $\Delta\varphi = 1'$
57° 0′	1,70639	15,2	671,4	1,73
10	1,70791	15,2	654,1	1,60
20	1,70943	15,1	638,1	1,48
30	1,71094	15,1	623,3	1,38
40	1,71245	15,1	609,5	1,30
50	1,71396	15,0	596,5	1,20
58 0	1,71546	15,0	584,5	1,14
10	1,71696	15,0	573,1	1,07
20	1,71846	14,9	562,4	1,01
30	1,71995	14,9	552,3	0,96
40	1,72144	14,8	542,7	0,90
50	1,72292	14,8	533,7	0,86
59 0	1,72440	14,8	525,1	0,82
10	1,72588	14,7	516,9	0,78
20	1,72735	14,7	509,1	0,74
30	1,72882	14,7	501,7	0,71

φ	μ	$\Delta\mu$ für $\Delta\varphi = 1'$	λ	$-\Delta\lambda$ für $\Delta\varphi = 1'$
59° 40'	1,73029	14,6	494,6	0,67
50	1,73175	14,6	487,9	0,61
60 0	1,73321	14,6	481,8	0,55
10	1,73467	14,5	476,3	0,52
20	1,73612	14,5	471,1	0,50
30	1,73757	14,5	466,1	0,49
40	1,73902	14,4	461,2	0,47
50	1,74046	14,4	456,5	0,46
61 0	1,74190	14,3	451,9	0,44
10	1,74333	14,3	447,5	0,42
20	1,74476	14,3	443,3	0,41
30	1,74619	14,2	439,2	0,41
40	1,74761	14,2	435,1	0,40
50	1,74903	14,1	431,1	0,38
62 0	1,75044	14,1	427,3	0,36
10	1,75185	14,1	423,7	0,36
20	1,75326	14,0	420,1	0,34
30	1,75466	14,0	416,7	0,34
40	1,75606	14,0	413,3	0,33
50	1,75746	13,9	410,0	0,32
63 0	1,75885	13,9	406,8	0,31
10	1,76024	13,9	403,7	0,31
20	1,76163		400,6	

198) Um die Wellenlängen zu berechnen, bedienten wir uns der Cauchy'schen Annäherungsformel zwischen Brechungscoëfficient μ und Wellenlänge λ:

$$\mu = a + \frac{b}{\lambda^2}$$

zunächst für den minder brechbaren Theil des Spectrums. Fraunhofer hat für die seinen Linien entsprechenden Wellenlängen, ausgedrückt in Hundert-Millionstel des Pariser Zolles, die folgenden Zahlen gegeben:

B	*C*	*D*	*E*	*F*	*G*	*H*
2541	2425	2175	1943	1789	1585	1451

die, wenn wir Millionstel des Millimeters als Einheit nehmen, in die folgenden übergehen:

687,8	656,4	588,8	526,0	484,3	429,1	392,8

wobei die Beobachtungsfehler auf die Decimalstelle Einfluss haben.

Stellen wir mit den vorstehenden Werthen von λ_C und λ_F die in der 196. Nummer bestimmten Werthe von μ_C und μ_F zusammen, so ergeben sich für die Constanten der obigen Annäherungsformel die Werthe:

$$a = 1{,}678025,$$
$$\log b = 4{,}1067876.$$

Mit Hülfe dieser Werthe sind die Wellenlängen, die Ablenkungen bis zu 60° entsprechen, berechnet worden.

Zur Controle der Anwendbarkeit der Cauchy'schen Annäherungsformel innerhalb der obigen Grenzen wurden die Winkel der kleinsten Ablenkung für die Fraunhofer'schen Linien D und E gemessen. Es ergab sich

$$\varphi_D = 57^0\,55{,}5', \qquad \varphi_E = 59^0\,0'.$$

Die erste dieser Linien stimmt genau, was Fraunhofer schon bemerkt hat, mit der Mitte des gelben Natronstreifens (siehe 204) überein, der sich in dem dunklen Theile einer Kerzenflamme wiederfindet, und dessen Licht das Licht der Flamme des Kochsalz aufgelöst enthaltenden Alkohols ist. Nehmen wir andererseits die Winkel, welche nach der vorstehenden Tabelle den Fraunhofer'schen Wellenlängen λ_D und λ_E entsprechen, so erhalten wir

$$\varphi_D = 57^0\,56{,}4', \qquad \varphi_E = 58^0\,59',$$

Werthe, die mit den beobachteten bis auf eine Minute übereinstimmen, was in der vierten Decimalstelle des Brechungscoëfficienten $1\frac{1}{2}$ Einheiten ausmacht.

Für die stärker brechbaren Strahlen wurden die beiden Constanten der Cauchy'schen Annäherungsformel durch die oben bestimmten Coëfficienten für die Fraunhofer'schen Linien F und G und die entsprechenden Wellenlängen berechnet, wonach

$$a = 1{,}669558$$
$$\log b = 4{,}1695160$$

sich ergab, und die Formel alsdann zur Berechnung der Wellenlängen für Ablenkungen von 60° bis 63° 20′ angewendet. Wir erhalten auf diese Weise die für unsere Zwecke hinlänglich angenäherten Werthe, wie sie in der vorstehenden Tafel zusammengestellt sind. Diese Tafel giebt für das Licht des Wasserstoffgases

	λ
H_α	653,3
H_β	484,3
H_γ	433,9.

199) Ich habe oben schon bemerkt, dass der dunkle Hintergrund,

auf welchem die drei hellen Streifen des Wasserstoffspectrums stehen, um so mehr zurücktritt, je reiner das Gas ist. An den vielen von mir untersuchten Wasserstoffröhren zeigen sich, wenn auch noch so schwach hervortretend, in dem Raume zwischen H_α und H_β feine dunkle Streifen. Von diesen Streifen wurde die Stelle eines der stärkeren durch das Goniometer beobachtet und mit dem Streifen Nr. 13 des Stickstoffgasspectrums übereinstimmend gefunden. Ein verwaschener, breiterer, schwach gelber Streifen tritt am meisten hervor und zeigte unter günstigen Umständen in seiner Mitte eine dunkle Linie. Diese Linie stimmt, was die Messung zeigte, mit dem dunklen Streifen Nr. 16, zu dessen beiden Seiten in dem genannten Spectrum sich helles Gelb befindet. Bis jetzt halte ich mich daher für berechtigt, die beobachtete Färbung des Hintergrundes des Wasserstoffspectrums lediglich den letzten Spuren der zurückgebliebenen Luft zuzuschreiben.

Sauerstoffgas.

200) Die Darstellung von Sauerstoffgasröhren bot anfänglich grosse Schwierigkeiten dar; aus den meisten Röhren verschwand das freie Gas, bevor das Spectrum bestimmt werden konnte. Nur in einer Röhre mit Aluminium-Elektroden hielt sich das Gas, das aus Quecksilberoxyd hergestellt worden war, bisher unverändert. Nur traten mit den Sauerstoffgasstreifen gleichzeitig die drei Wasserstoffgasstreifen auf, offenbar von Wasser herrührend, das in der Röhre geblieben war. Von diesen Streifen, denen genau die früher bestimmten Ablenkungen entsprachen, wollen wir in dem Folgenden einstweilen als fremden Streifen ganz absehen. Ausser denselben traten in dem Spectrum mehrere Streifen von einfacher Breite auf, von denen wir die vier am stärksten hervortretenden durch α, β, γ und δ, wenn es zur Unterscheidung erforderlich ist, mit Voraussetzung des chemischen Symbols des Sauerstoffgases, bezeichnen wollen. Am hellsten sind O_α und O_δ.

		Stellung des Fernrohrs.
1.	Dunkler rother Streifen, an H_α nach der violetten Seite hin sich anlehnend	
2.	Mitte des schön rothen Streifens O_α	115° 2,5′
3.	Mitten zweier schwacher grünlich gelber Streifen . .	114° 15′
4.		114° 0′
5.	Mitte des grünen Streifens O_β	113° 47,5′
6.	Mitte des grünen Streifens O_γ	113° 30,5′
7.	Mitten blauer Streifen	112° 10′
8.		111° 55′
9.	Mitte des schön violetten Streifens O_δ	111° 2,5′

Der Streifen O_α ist nach der rothen Grenze hin durch einen breiten, nach der violetten Grenze durch einen schmalen schwarzen Raum begrenzt. Für die vier Hauptstreifen ergiebt sich

	φ	μ	λ
O_α	57° 36′	1,7118	615,0
O_β	58° 51′	1,7231	532,8
O_γ	59° 8′	1,7256	518,5
O_δ	61° 36′	1,7470	436,7

Das Licht in dem weiteren Theile der Röhre war, wie immer beim Sauerstoff, sehr schwach; in der engeren Röhre war es intensiv, seine Färbung aber durch das beigemengte Wasserstoffgas gestört. Das Licht um die negative Elektrode war sehr schön violett.

Stickstoffgas.

201) Das Licht in dem engeren Theil der Röhre ist röthlich violett, in dem weiteren Theile ebenfalls, nur viel schwächer. Das Licht der negativen Elektrode ist schön violett. Zur Bestimmung des Spectrums wurde eine alte Röhre angewandt, die vielfach seit sechs Monaten gebraucht worden war, und deren Licht sich durchaus nicht änderte. Das Spectrum ist eines der farbenreichsten und zugleich der ausgedehntesten, indem es etwa von der Fraunhofer'schen Linie *B* bis zur Linie *H* sichtbar ist. Es unterscheidet sich von den Spectra der übrigen einfachen Gase durch dunkle Linien in dem weniger brechbaren Theile desselben. 17 solcher Linien befinden sich zwischen der äussersten Grenze des sehr dunklen Rothen bis zu der Grenze des schönen Gelben in genau gleichen Abständen von einander. Wir wollen diese dunklen Linien, die wesentlich von denjenigen verschieden sind, welche die gewöhnlichen hellen Streifen der Gasspectra begrenzen oder auch in Streifen von einfacher Breite theilen, durch Nr. 1 bis Nr. 17 bezeichnen. Das Roth erstreckt sich bis zum Streifen Nr. 11, es ist sehr dunkel bis zum Streifen Nr. 2, so dass es unter ungünstigen Verhältnissen nicht gesehen wird, es ist zwischen Nr. 2 und Nr. 3 etwas heller; zwischen Nr. 3 und Nr. 9 ist es schön, zwischen Nr. 9 und Nr. 11 aber dunkel und bräunlich. [Vgl. Tafel VI.] Der Uebergang vom Rothen zum Orangefarbigen, der durch Nr. 11 gegeben ist, ist ein ganz bestimmter. Das Orange ist ein gleichmässiges bis Nr. 14. Zwischen diesem Streifen und dem folgenden findet sich eine Uebergangsfarbe zwischen Orange und Gelb. Von Nr. 15 an ist die Färbung schon eine gelbe. Der Raum bis zur Grenze des Gelben wird durch die Streifen Nr. 16 und Nr. 17 in drei gleiche Theile getheilt. Die

Mitte des Wasserstoffstreifens H_α fällt nahe mit Nr. 4 zusammen, die Fraunhofer'sche Linie D, oder was dasselbe ist, die Mitte des Natronstreifens, wie ihn der dunkle Theil jeder Kerzenflamme zeigt, fällt zwischen Nr. 14 und Nr. 15. Die Grenze des Gelben ist vollkommen scharf, es folgt absolutes Schwarz, das sich ins Grüne abschattirt. Im Grünen sind noch sieben dunkle Linien, die den früheren ähnlich sind, aber nicht gleichen Abstand von einander haben. Sie begrenzen verschieden schattirte grüne Räume, während andere solche Grenzen nicht durch dunkle Linien bezeichnet werden. Der 6. Streifen bezeichnet eine schwarzgrüne Grenze, von welcher aus nach beiden Seiten hin das Grüne ins Helle sich abschattirt. Das Grüne ist am hellsten zwischen dem 3. und 4. Streifen und nach dem 7. Nach dem Grünen wird das Spectrum wiederum ein normales, das aus hellen scharf begrenzten Streifen auf dunklem Hintergrunde besteht. Diese Streifen sind aber der grösseren Zahl nach doppelt oder mehrfach und lösen sich demnach bei immer enger werdender Spalte in Lichtlinien auf, von denen einige in Gruppen nahe zusammenstehen. Man unterscheidet deutlich 11 solcher hellen Streifen oder Gruppen von Streifen, die wir α, β, γ, δ, ε, ζ, η, ϑ, ι, $\varkappa$ und λ nennen wollen. Von diesen treten ϑ und ι am hellsten hervor und sind durch einen schwarzen Raum getrennt. Auch zwischen ε und ζ ist der Hintergrund fast schwarz. Im Allgemeinen erscheint derselbe grau, nirgend zeigt er eine entschiedene Färbung. Ueber λ hinaus sind noch zwei schwache violette Streifen deutlich wahrzunehmen.

Die Bestimmung des Spectrums ergab:		Stellung des Fernrohrs.
Grenze des Rothen		115° 46′
N 1.	Dunkler Streifen auf dunklem Hintergrunde	115° 41,5′
„ 2.	Anfang des helleren Rothen	115° 37′
„ 3.	im hellen Roth	115° 32,5′
„ 4.	im hellen Roth	115° 28′
„ 5.	im hellen Roth	115° 24′
„ 6.	im hellen Roth	115° 19,5′
„ 7.	im hellen Roth	115° 15′
„ 8.	im hellen Roth	115° 10,5′
„ 9.	Anfang des Braunrothen	115° 6,5′
„ 10.		115° 2,5′
„ 11.	Anfang des Orange	114° 58′
„ 12.	Streifen im Orange und Gelben	114° 53,5′
„ 13.	Streifen im Orange und Gelben	114° 49′
„ 14.	Streifen im Orange und Gelben	114° 44,5′

		Stellung des Fernrohrs.
N 15. „ 16. „ 17.	Streifen im Orange und Gelben	114° 40′ 114° 35,5′ 114° 31′
Grenze des Gelben		114° 26,5′
Grenzen von Schattirungen im Grünen bezeichnet durch dunkle Streifen		114° 17,5′ 114° 10,5′ 114° 5,5′ 113° 58′ 113° 47,5′ 113° 42,5′ 113° 31′
Grenzen ohne bemerkliche dunkle Streifen		113° 27′ 113° 15,5′ 113° 10,5′ 113° 2′
N_α. Einfacher bläulich grüner Streifen. Mitte		112° 51,5′
N_β. Breiterer blauer Streifen. Grenzen		112° 36′ 112° 31′
N_γ. Zwei durch eine dunkle Linie getrennte einfache Streifen, Grenzen		112° 21′ 112° 17,5′ 112° 14,5′
N_δ. Drei einfache, durch zwei dunkle Linien getrennte Streifen	erste Grenze dunkle Linien zweite Grenze	112° 9,5′ 112° 6,5′ 112° 3,5′ 112° 0,5′
N_ε. Ein einfacher Streifen durch einen schwarzen Streifen von 2′ von einem Doppelstreifen, mit einer dunklen Linie in seiner Mitte, getrennt	Grenzen	111° 55,5′ 111° 53′ 111° 51′ 111° 48′ 111° 44′
N_ζ. Ein einfacher Streifen, durch eine dunkle Linie von einem 5′ breiten Streifen getrennt. Ein schwächerer Streifen geht vorher.	Erste Grenze Dunkle Linie Zweite Grenze	111° 33′ 111° 30′ 111° 25′
N_η. Ein einfacher violetter Streifen. Mitte . . . . . . Ein schwächerer Streifen folgt.		111° 14′

			Stellung des Fernrohrs.
N_ϑ.	Ein dreifacher Streifen mit zwei dunklen Linien	Erste Grenze	111° 2′
		Dunkle Linien	110° 58,5′
			110° 55′
		Zweite Grenze	110° 52′
N_ι.	Ein einfacher Streifen durch eine dunkle Linie von einem 5′ breiten Streifen getrennt, der seinerseits durch einen 3′ breiten dunklen Raum von einem einfachen Streifen getrennt ist.	Erste Grenze	110° 40′
		Dunkle Linie	110° 37′
		Zweite Grenze	110° 32′
		Grenzen . .	110° 29′
			110° 25,5′
$N_\varkappa$.	Ein einfacher Streifen durch eine dunkle Linie von einem breitern getrennt.	Erste Grenze	110° 17′
		Dunkle Linie	110° 13,5′
		Zweite Grenze	110° 8,5′
N_λ.	Ein Streifen, dessen Grenzen		110° 2′
			109° 57′

202) Für die Entfernung je zweier auf einander folgenden dunklen Streifen im Rothen, Orange und Gelben ergiebt sich 4′ 24″. Es ist für

	φ	μ	λ
N 3.	57° 6′	1,7073	661,0
„ 11.	57° 40,5′	1,7125	608,9
„ 17.	58° 7,5′	1,7166	576,2.

Das Licht des Stickstoffgases enthält viel und schönes Violett und ruft darum starke Fluorescenz hervor, während das reine Licht des Wasserstoffgases diese Eigenschaft in kaum merklichem Grade besitzt. Wenn wir den Spalt, der bei allen gegenwärtigen Bestimmungen 3 Minuten breit war, nur wenig breiter nehmen oder das Spectrum aus dem Brennpunkte rücken, so erscheinen die einzelnen Gruppen von Streifen, die wir durch denselben griechischen Buchstaben bezeichnet haben, als continuirliche Streifen von grösserer Breite ohne dunkle Linien. Es ist dieses ein auffallender Beleg für unsere theoretische Auffassung, dass breitere Streifen durch Verengung des Spaltes sich zuletzt in mehrere Streifen von einfacher Spaltbreite auflösen, dass, mit anderen Worten, die entsprechenden Brechungscoëfficienten und Wellenlängen discontinuirlich sind. Es ist merkwürdig, dass im vorliegenden Falle der violette Theil des Normalspectrums (183) mehrere Gruppen von solchen Lichtlinien enthält, die 3 Minuten von einander abstehen. N_γ zum Beispiel enthält zwei solche Lichtlinien, für welche

$$\varphi = \begin{cases} 60^\circ\ 19{,}5' \\ 60^\circ\ 22{,}5'. \end{cases}$$

Die Gruppen N_δ und N_ϑ enthalten drei Lichtlinien, für welche bezüglich ist:

$$\varphi = \begin{cases} 60^0\ 30{,}5' \\ 60^0\ 33{,}5' \\ 60^0\ 36{,}5' \end{cases} \quad \text{und} \quad \begin{cases} 61^0\ 38{,}25' \\ 61^0\ 41{,}75' \\ 61^0\ 45'. \end{cases}$$

Zwei der Lichtlinien in N_ϵ haben einen Abstand von 5′. Einige der gemessenen Streifen haben eine Breite von 5′; der Analogie nach halte ich es für wahrscheinlich, dass bei fernerer Verengung des Spaltes solche Streifen in zwei einfache sich auflösen, deren Mitten 2′ von einander abstehen. Demnach würden in dem Normalspectrum, N_β entsprechend, zwei blaue Lichtlinien von demselben gegenseitigen Abstande auftreten, ebenso N_ι entsprechend vier schöne violette Lichtlinien in den Abständen von 3′, 2′ und 6′, für welche

$$\varphi = \begin{cases} 62^0\ \ 0' \\ 62^0\ \ 3' \\ 62^0\ \ 5' \\ 62^0\ 11{,}25'. \end{cases}$$

Die unendliche Schwierigkeit, die geringen Spuren eines Gases, die in unseren Beobachtungen Träger des elektrischen Stromes sind, frei von jeder fremden Beimischung zu erhalten, lässt kleine Modificationen in der Bestimmung unseres Spectrums, namentlich des grünen und violetten Theiles desselben, als möglich erscheinen. Hier, wo jede chemische Analyse wegfällt, *finden die Beobachtungen nur durch sich selbst, indem sie vervielfältigt werden, etwaige Correctionen.* Bei einer grossen Auswahl von Röhren habe ich diejenige unseren Messungen zu Grunde gelegt, die ich für die reinste hielt, in deren Spectrum namentlich keine Spur von Wasser sich nachweisen liess.

Quecksilber.

203) Um fremdartige Elektroden im Innern der Röhre ganz zu eliminiren, wurden die Platindrähte nur eben hineingeführt und Quecksilber in hinreichender Menge in der Röhre gelassen und so vertheilt, dass es beide Platinspitzen ganz bedeckte. Zu diesem Ende war die Kugel am oberen Ende der Röhre mit ihrer Elektrode umgebogen worden. Der Strom ging demnach von Quecksilber aus und zu Quecksilber über. Die Röhre war durch Kochen des Quecksilbers luftleer gemacht worden. Auch ohne Erwärmung des Quecksilbers traten, wenn die Entladung durch den engeren Theil der Röhre hindurchging, die helleren, demselben eigenthümlichen Streifen auf. Aber das Spectrum

nahm bedeutend an Helligkeit zu, wenn das Quecksilber in dem unteren weiteren Theile der Röhre erwärmt wurde, und dies setzte sich fort, bis das Quecksilber hier ins Sieden gerieth, was bei dem geringen Drucke schon bei 40° bis 50° der Fall war, und sich in der oberen Kugel wieder condensirte. In den beiden von Herrn Geissler construirten Apparaten wiesen die Spectra durch die beiden ersten Wasserstoffgasstreifen H_α und H_β Spuren zurückgebliebenen Wassers nach, die in der mit der grösseren Sorgfalt hergestellten Röhre weniger stark hervortraten. Abgesehen von diesen Streifen, die genau die ihnen angehörige Stelle im Spectrum einnahmen, wurde noch die Lage der folgenden Streifen gemessen, von denen wir die drei stärkeren durch Hg_α, Hg_β und Hg_γ bezeichnen wollen.

	Stellung des Fernrohrs.
Grenzen eines breiteren schwachen orange Streifens . . .	114° 58,5′ 114° 49′
Hg_α. Schön gelber Streifen mit einer hellen Linie in seiner Mitte, 5′ breit. Helle Linie	114° 32′
Mitte eines schwachen einfachen Streifens	114° 15,5′
Hg_β. Einfacher schön grüner Streifen. Mitte	114° 2′
Mitte von vier schwächeren einfachen Streifen	113° 30′ 112° 51′ 112° 37,5′ 111° 35′
Hg_γ. Einfacher, schön violetter Streifen. Mitte	111° 0,5′

Für die drei stärkeren der das Quecksilber charakterisirenden Streifen ergiebt sich:

	φ	μ	λ
Hg_α.	58° 5,5′ 58° 7,5′	1,7163 1,7166	578,2 575,9
Hg_β.	58° 36,5′	1,7209	546,1
Hg_γ.	61° 38′	1,7473	435,9

Natrium.

204) Die Röhre bestand wie gewöhnlich aus einer Kugel und einem weiteren Cylinder, in welche Platin-Elektroden eingeschmolzen waren, und zwischen welchen eine Thermometerröhre die Verbindung bildete. An den weiteren Cylinder, nahe der Verbindungsstelle mit der Thermometerröhre, war seitwärts ein Glasbehälter angeschmolzen,

und in diesen wurde, nachdem das Innere der ganzen Röhre mit Kohlensäure angefüllt worden war, das metallische Natrium hineingebracht. Hiernach wurde so weit wie möglich evacuirt. Die Röhre zeigte, als der Strom durchging, das Spectrum des reinen Wasserstoffgases; keine Spur von Kohlensäure machte sich in dem Spectrum bemerklich. Offenbar war ein Minimum von Wasserdampf in der Röhre zurückgeblieben, der einerseits das Wasserstoffgas für das Spectrum lieferte, andererseits Sauerstoff abgab, der sich mit einer entsprechend kleinen Menge von Natrium verband, das hinreichend war zur Neutralisirung der Kohlensäure in kohlensaures Natron. Während das Fernrohr auf die schönen Wasserstoffstreifen gerichtet war, wurde das Natrium in dem seitlichen Gefässe durch eine Alkohollampe erhitzt. Schon bei einer geringen Erwärmung, lange bevor das Natrium schmolz, trat in dem Spectrum ein gelber Streifen auf, der bei steigender Erwärmung immer mehr an Glanz zunahm. Zuletzt zog sich schönes gelbes Licht auch in den inneren Raum des seitlichen Glasbehälters, obgleich dieser Raum nicht auf dem directen Wege der Entladung zwischen den beiden Elektroden lag. Das metallische Natrium war geschmolzen, und die Dämpfe desselben condensirten sich wieder zu metallischen Kugeln an weniger stark erwärmten Stellen des Gefässes. Der gelbe Natriumstreifen Na_α fällt mit demjenigen Streifen zusammen, der in Flammen, welche mit Natronsalzen in Berührung kommen, sich zeigt, also mit dem Streifen der gelben monochromatischen Alkoholflamme und demnach auch mit der dunklen Fraunhofer'schen Linie *D*.

	φ	μ	λ
Na_α.	57° 55,5′	1,7148	588,9*)

Brom.

205) Das Bromspectrum**) erhielt sich constant, wenigstens zeigte eine Röhre mit Platin-Elektroden, die sechs Monate aufbewahrt worden war, unverändert dasselbe Spectrum. In der Kugel und dem weiteren Cylinder an den beiden Enden war das Licht schön violett und bildete, ohne sich ganz durch dieselben zu verbreiten, in beider Mitten einen

*) [Aus der Tabelle S. 574, welche Plücker sonst zur Berechnung der Wellenlänge benutzt hat, folgt 589,9.]

**) [Darstellungen der Spectra von Br, Cl, J, P, welche Plücker einer späteren Abhandlung (39) beigegeben hat, sind auf Tafel VIII. reproducirt; sie sind aber wegen der bedeutend stärkeren Dispersion und auch sonst etwas abweichenden Umstände mit den hier gegebenen Beschreibungen nicht völlig vergleichbar.]

Faden. Beim Eintritt in den engen Theil der Röhre wurde das Licht schön *grünlich blau.*

Es wurden die Mitten von 18 hellen einfachen Streifen gemessen.

		Stellung des Fernrohrs.
1.	Dunkelrother Streifen	115° 14,5′
2.	Etwas hellerer Streifen	115° 2,5′
3.	Schwacher orange Streifen	114° 37′
4.— 9.	Sechs grünliche und grüne Streifen, die, mit Ausnahme des 4., der Reihenfolge nach an Helligkeit zunahmen. Der 6., Br_α, besonders hell	114° 15′ 114° 5,5′ 113° 58′ 113° 46′ 113° 35′ 113° 28,5′
10.	Ein schmaler grüner Streifen	113° 13′
11.	Ein etwas stärkerer	112° 52,5′
12.—14.	Drei schöne blaue Streifen. Der erste, Br_β, weniger schön als der zweite, Br_γ. Der dritte, Br_δ, und Br_α die schönsten des Spectrums	112° 34′ 112° 29′ 112° 14,5′
15.	Ein schwächerer Streifen	112° 10′
16.—18.	Drei schwache violette Streifen	111° 59′ 111° 28,5′ 111° 0′

Vielleicht lassen sich noch einige der blassen Streifen als nicht dem Brom angehörig eliminiren. Die benannten vier violetten Streifen sind unzweifelhaft demselben eigenthümlich. Für diese ergiebt sich

	φ	μ	λ
Br_α	59° 10′	1,7259	516,9
Br_β	60° 4,5′	1,7339	479,3
Br_γ	60° 9,5′	1,7346	476,6
Br_δ	60° 24′	1,7367	469,1.

Chlor.

206) Die Farbe der elektrischen Entladung durch Chlorgas ist in weiten Röhren röthlich violett, in sehr engen schön grün. Hierin scheint die Erklärung der früher mitgetheilten Beobachtung zu liegen, dass durch einen starken Elektromagnet das röthlich gefärbte elektrische Licht einer Geissler'schen Chlorröhre die schönste grüne Farbe annimmt: offenbar in Folge einer Concentration des Stromes durch magnetische Anziehung oder Abstossung. Bei Aluminium-Elek-

troden hielt sich das Chlorgas in der Röhre, und diese schwärzte sich nicht. In dem elektrischen Spectrum des Chlors [Taf. VIII.] treten drei durch ihre Helligkeit besonders ausgezeichnete Streifen hervor, die wir durch Cl_α, Cl_β und Cl_γ bezeichnen wollen. Der erste dieser Streifen ist gelblich grün, der zweite grün, der dritte blau. Der erste, Cl_α, ist *vierfach*, durch zwei dunkle Linien 1 und 5 begrenzt und durch drei solcher Linien 2, 3 und 4, von welchen die erste am schwärzesten erschien, in vier Streifen von einfacher Breite getheilt; von diesen einfachen Streifen ist der zweite am hellsten, der vierte am dunkelsten. Cl_β ist von mehr als einfacher Breite und darum wahrscheinlich doppelt. Cl_γ ist durch zwei schwarze Linien 1 und 4 begrenzt und durch zwei andere 2 und 3 in drei Streifen (von etwas weniger als einfacher Breite?) getheilt. Zwischen Cl_β und Cl_γ treten noch drei schwächere grüne Streifen auf. Die folgenden Winkel wurden gemessen.

		Stellung des Fernrohrs
Grenze des sichtbaren rothen Hintergrundes etwa		115° 39′
Cl_α	1	114° 4′
	2	114° 1′
	3	113° 58,5′
	4	113° 55,5′
	5	113° 52′
Dunkler Streifen		113° 46′
Grenzen von Cl_β		113° 36,5′
		113° 32′
Schwächerer grüner Streifen. Mitte		113° 27′
Desgleichen		113° 17′
Dunkler Streifen		113° 6,5′
Schwächerer grüner Streifen		112° 50′
Cl_γ	1	112° 37,5′
	2	112° 35′
	3	112° 32,5′
	4	112° 30′
Sichtbare Grenze des Violetten		109° 56′

Für die drei Haupt-Chlorstreifen ergiebt sich:

	φ	μ	λ
Cl_α,2	58° 37,5′	1,7211	545,1
Mitte Cl_β	59° 4,25′	1,7250	521,6
Mitte Cl_γ	60° 4,75′	1,7339	479,2.

Zinnchlorid.

207) In dem weiteren Theil der Röhre war die Färbung des elektrischen Lichts ein saftiges tiefes Blau, das beim Eintritt in den engen Theil derselben plötzlich in das schönste reine Goldgelb sich verwandelte. Die negative Elektrode war von rehfarbigem Lichte umgeben. Als die Röhre mit ihrem weiteren Theile auf die einander genäherten Halbanker des grossen Elektromagneten gelegt wurde, zuckten, nach Erregung des Magnetismus, die schönsten goldgelben Blitze, nach der Lage der Röhre bald angezogen, bald abgestossen, bald seitwärts abgelenkt, durch das ruhige blaue Licht. Dieselbe überraschende Erscheinung giebt jede weitere Geissler'sche Zinnchloridröhre.

Zunächst fanden sich in dem Spectrum die drei hellen Chlorstreifen wieder. Der Streifen Cl_α war mehr verwaschen. Für die Mitte von Cl_β ergab sich 113° 34′. Der Streifen Cl_γ erschien nun doppelt, und der dunklen Linie in seiner Mitte entsprach 112° 33,5′. Von den übrigen Streifen zeichneten sich fünf durch ihre Helligkeit aus; wir bezeichnen dieselben durch $SnCl_4\alpha$, β, γ, δ und ε.

	Stellung des Fernrohrs
Mitte des rothen Streifens $SnCl_4\alpha$	115° 22,5′
Mitte des glänzend gelben Streifens $SnCl_4\beta$	114° 34′
Schön gelber Doppelstreifen $SnCl_4\gamma$ mit einer helleren Linie in der Mitte. Grenzen	114° 16′ 114° 11′
Mitte des Streifens $SnCl_4\delta$	113° 48′
„ „ „ $SnCl_4\varepsilon$	111° 39,5′

Nach dem Vorstehenden ist für die Mitten der dem Zinnchlorid eigenthümlichen Hauptstreifen

	φ	μ	λ
$SnCl_4\alpha$	57° 16′	1,7088	644,5
β	58° 4,5′	1,7151	579,4
γ	58° 24′ 58° 26′	1,7191 1,7194	558,4 556,3
δ	58° 50,5′	1,7230	533,3
ε	60° 59′	1,7418	452,4.

Zwei schwächere dem Zinnchlorid anscheinend ebenfalls eigenthümliche Streifen, die früher gemessen worden waren, konnten später nicht mehr beobachtet werden. Der erste derselben war orange, entsprechend $\varphi = 57°\,40'$; der zweite war violett und stand etwa 20′ von $SnCl_4\varepsilon$ nach der rothen Seite des Spectrums hin.

Die Elektroden der angewandten Röhren waren theils von *Platin*, theils von *Aluminium*, theils von *Zinn*. Der Strom erlosch nach einiger Zeit bei Platin-Elektroden, er hielt sich gut bei Aluminium-Elektroden. Zwei Röhren mit Elektroden, deren in die Röhre hineinragender Theil *Zinn* war, entsprachen der Erwartung, dass das Gas unzersetzt bleiben sollte, nicht. Der ursprünglich in schönster Weise leuchtende Strom ging nach einigen Wochen nicht mehr hindurch und that es erst dann wieder, nachdem das Zinn der Elektroden im Innern durch Erwärmung von aussen her abgeschmolzen war und wieder eine glänzende Oberfläche hatte. Aber die ursprüngliche Erscheinung trat nicht mehr in ihrer Reinheit auf.

Chlor-Silicium.

208) Die Röhre zeigte in ihrem weiteren Theile rehfarbenes Licht, das im engeren Theile weisslich wurde. Nur eine der Röhren blieb so lange ziemlich constant, dass das Spectrum genommen werden konnte. In anderen Fällen trat gleich anfänglich eine vollständige Zersetzung ein. Die Messung ergab folgende Winkel.

	Stellung des Fernrohrs
Mitte eines rothen stark hervortretenden Streifens (H_α) .	115° 28′
Mitte eines zweiten, gleich glänzenden	115° 15′
Mitte eines orange Streifens	114° 49,5′
Dreifacher Streifen (Cl_α). Grenzen	114° 4′ 113° 56′
Mitte eines breiten Streifens (Cl_β)	113° 34,5′
Ein grüner 5′ breiter Streifen, mit einer helleren Linie in der Mitte, für welche	113° 12′
Bläulich grüner Streifen (H_β). Mitte	112° 43′
Dreifacher Streifen (Cl_γ). Grenzen	112° 37,5′ 112° 30′
Mitte eines bläulich violetten Streifens •	111° 37,5′
Violetter Streifen (H_γ). Mitte	110° 55,5′
Mitten zweier einfacher blass violetter Streifen	110° 15′ 109° 59′

Nach Eliminirung der Wasserstoffgas- und Chlorgasstreifen bleiben noch, als dem Chlor-Silicium angehörig, übrig ein schöner rother Streifen, mit H_α von gleicher Helligkeit, ein etwas schwächerer orange Streifen, ein gleich heller grüner Doppelstreifen mit einer hellen Linie in der Mitte, und wahrscheinlich zwei dunkel violette Streifen. Für die drei ersten Streifen, die wir durch $SiCl_4\,\alpha$, β und γ bezeichnen wollen, ergiebt sich

	φ	μ	λ
$SiCl_4\,\alpha$	57° 23,5′	1,7100	632,9
β	57° 49′	1,7138	597,8
γ	{59° 25,5′	{1,7282	{505,0
	{59° 27,5′	{1,7285	{503,6.

---

209) Vorzugsweise wählte ich zu den Untersuchungen solche Chlorverbindungen aus, die flüssig sind, weil man überhaupt Spuren von Dämpfen flüssiger Substanzen am besten frei von jeder fremden Beimischung in die Geissler'schen Röhren bringen kann. Vollständig ist es mir bisher nur in dem Falle des Zinnchlorids gelungen, den Einfluss des Metalls in seiner Verbindung mit Chlor zu bestimmen. Vielleicht auch in dem Falle des Silicium-Chlorids. In dem Spectrum des Titan-Chlorids gab sich gleich beim ersten Durchgehen des Stromes Chlor kund; ausserdem tauchten nur schwache Streifen in demselben auf, ein Streifen an der äussersten Grenze des Rothen und zwei Doppelstreifen zwischen Cl_β und Cl_γ. Nachdem die Röhren etwa einen Monat lang unberührt sich selbst überlassen geblieben waren, zeigten sie das *schönste und reinste Chlorspectrum;* das Licht in ihren weiteren Theilen war violett, in ihrem engen Theile schön grün. Auch das Spectrum des Antimonchlorids zeigte nur schwache Streifen neben den Chlorstreifen, die zwar bestimmt werden konnten, aber zu schwach waren und zu bald verschwanden, um ein deutliches Bild des Spectrums zu geben. Ebenso verhielt sich eine Röhre von Chlor-Chromoxyd. Der Versuch mit Wismuth-Chlorid unter Anwendung von Wärme misslang ganz. Hierbei zweifle ich indess nicht an dem schliesslichen Erfolge späterer modificirter Versuche.

Eine Chlorwasserstoffsäure-Röhre zeigte anfänglich gleichzeitig Wasserstoff- und Chlorstreifen, war aber nach einigen Monaten in eine reine Wasserstoffröhre verwandelt. Die Elektroden waren von Platin.

Eine Silicium-Brom-Röhre gab das reine Spectrum des Broms.

Kohlensäure.

210) Das Spectrum der Kohlensäure ändert sich, während der Strom hindurchgeht. (Die angewandte Röhre hatte Platin-Elektroden.) Namentlich erblasst der ursprünglich glänzend rothe Streifen im Anfange des Spectrums, bis er zuletzt, wo das Spectrum sich nicht mehr ändert, fast ganz verschwunden ist. Mit Sauerstoffgas verbunden wird das Platin der Elektrode zu der umgebenden Glaswandung übergeführt,

wo es, wie in Sauerstoffgasröhren, als gelber Niederschlag sich ablagert. Später, wenn das Spectrum constant geworden, wird der Niederschlag schwarz, wie es der Niederschlag von metallischem Platin bei nicht verschwindender Dicke immer ist. Das zuletzt constante Spectrum scheint hiernach dem Kohlenoxydgas anzugehören. Die untersuchte Röhre war eine der ersten von Herrn Geissler angefertigten, der Ruhmkorff'sche Apparat war oft und während langer Zeit durch sie hindurch entladen worden, die innere Glaswandung um beide Elektroden war bis auf eine Länge von mehreren Centimetern mit einer schwarzen undurchsichtigen Platinschicht bedeckt. Das Licht der Entladung war zuletzt schön grünlich weiss.

Es treten acht Streifen α, β, γ, δ, ε, ζ, η und ϑ hervor. Der erste derselben α ist der erblassende rothe Streifen, β ist ein dreifacher etwas verwaschener orange Streifen; von den drei Streifen von einfacher Breite ist der erste der hellste, der dritte der dunkelste, sie sind durch dunkle Linien getrennt. γ, δ und ε sind einfache Streifen, bezüglich grünlich gelb, grün und blau. ζ und η sind violette Streifen, die einen absolut schwarzen Raum begrenzen. ϑ ist ein entfernterer schwach violetter einfacher Streifen. Von sämmtlichen Streifen ist δ der hellste, dann kommt γ, dann kommen ζ und η. Der Hintergrund zwischen α und ε ist ein farbig schattirter. Zwischen α und β und zwischen β und γ befinden sich jedesmal zwei, zwischen γ und δ und zwischen δ und ε jedesmal drei dunkle Linien (denen des Stickstoffgasspectrums im Grünen ähnlich).

Die Messungen ergaben Folgendes:

	Stellung des Fernrohrs.
Mitte α	115° 25′
Dunkle Linie 1	115° 16′
„ „ 2	115° 6,5′
Grenzen von β	114° 58′ 114° 48′
Dunkle Linie 1	114° 37,5′
„ „ 2	114° 29′
Mitte γ	114° 16′
Dunkle Linie 1	114° 8′
„ „ 2	113° 56,5′
„ „ 3	113° 44,5′
Mitte δ	113° 31′
Dunkle Linie 1	113° 20′
„ „ 2	113° 8′

	Stellung des Fernrohrs.
Dunkle Linie 3	112° 54′
Mitte ε	112° 37,5′
„ ζ	112° 34,5′
„ η	111° 6′
„ ϑ	109° 51′

Für die vier helleren Streifen ergiebt sich:

	φ	μ	λ
$\ddot{C}_\gamma$*)	58° 22,5′	1,7188	559,9
$\ddot{C}_\delta$	59° 7,5′	1,7255	519,0
$\ddot{C}_\zeta$	61° 4′	1,7425	450,1
$\ddot{C}_\eta$	61° 32,5′	1,7454	438,2.

Anhydre Essigsäure.

211) Die Röhre hatte Platinelektroden. Das Licht in dem engeren Theile der Röhre hatte einen Stich ins Rothe.

Wir unterschieden in dem Spectrum zunächst die drei hellen Wasserstoffstreifen. Es wurde das Fadenkreuz des Fernrohrs auf die Mitte des ersten rothen Streifens H_α eingestellt, es blieb, nachdem die Wasserstoffröhre durch die Essigsäureröhre ersetzt worden war, auf der Mitte eines indentischen Streifens in dem neuen Spectrum. Ebenso fanden sich genau an derselben Stelle die beiden Streifen H_β und H_γ wieder.

Ausser diesen drei Streifen war noch die Mitte von folgenden sechs hellen Streifen gemessen worden.

	Stellung des Fernrohrs.
Blasser orange Streifen	114° 55,5′
Grünlich gelber Streifen	114° 15,5′
Grüner Streifen	113° 30,5′
Doppelter blauer Streifen (dunkle Linie)	111° 31,5′
Einfacher violetter Streifen	110° 34,5′
Doppelter violetter Streifen (dunkle Linie)	110° 16′.

Die vier ersten dieser sechs Streifen entsprechen offenbar den vier Kohlensäure-(Kohlenoxyd-)Streifen $\ddot{C}_\beta$, $\ddot{C}_\gamma$, $\ddot{C}_\delta$ und $\ddot{C}_\zeta$. Der erste dieser Kohlensäurestreifen besteht aus drei einfachen, von welchen der erste bedeutend heller ist als die beiden übrigen. Dieser hellere einfache Streifen wurde in dem Essigsäurespectrum allein beobachtet, wo er nach der violetten Seite hin nicht scharf begrenzt erschien.

*) Ich behalte einstweilen das Symbol $\ddot{C}$ [CO_2] bei, obwohl es wahrscheinlich durch $\dot{C}$ [CO] zu ersetzen ist.

Die beiden folgenden einfachen Streifen stimmen bis auf die Fehlergrenze einer halben Minute. Der zweite einfache Streifen des blauen Doppelstreifens der Essigsäure stimmt bis auf eine Minute mit dem einfachen Kohlensäurestreifen $\ddot{C}_\zeta$. (Bei nicht scharfer Begrenzung und grösserer Lichtschwäche ist ein solcher Beobachtungsfehler leicht möglich.) Der Ursprung der beiden letzten schwachen violetten Streifen lässt sich einstweilen noch nicht nachweisen, so wie andererseits in dem Essigsäurespectrum die beiden letzten violetten Kohlensäurestreifen $\ddot{C}_\eta$ und $\ddot{C}_\vartheta$ nicht beobachtet worden sind. Dem Streifen $\ddot{C}_\epsilon$ entsprechend wurde in dem Spectrum der Essigsäure eine helle Stelle beobachtet, die sich aber nicht als ein begrenzter Streifen darstellte.

Alkohol. Schwefeläther.

212) Die Spectra der Dämpfe des Alkohols und des Schwefeläthers wurden unmittelbar nach einander bestimmt. Die Vergleichung der beiden Beobachtungsreihen ergab für die Mitten der verschiedenen Streifen Ablenkungen, die entweder vollkommen übereinstimmen oder nur eine halbe Minute von einander abweichen. Einerseits traten die beiden Wasserstoffstreifen H_α und H_β auf (der schwächere H_γ wurde nicht beobachtet), andererseits ergaben sich für die übrigen Streifen folgende Stellungen des Fernrohrs:

114° 54,5′ entsprechend dem hellsten Theile des dreifachen Streifens $\ddot{C}_\beta$.
114° 34,5′ entsprechend einem nicht scharf begrenzten hellen Raum in dem Kohlensäurespectrum und dem hellsten Gelb des Stickstoffspectrums.
114° 15,5′ Kohlensäurestreifen $\ddot{C}_\gamma$.
113° 31′ entsprechend $\ddot{C}_\delta$, genauer dem Essigsäurestreifen.
111° 33′ entsprechend $\ddot{C}_\zeta$.
110° 22,5′ schwächerer Streifen ohne nachweisbaren Ursprung.

---

213) Es ist augenscheinlich, dass in den Spectra der Essigsäure sowohl als des Alkohols und des Schwefeläthers die beiden Spectra des Wasserstoffgases und der Kohlensäure (des Kohlenoxydes) sich überlagern, allerdings mit einigen Störungen. Ob diese Störungen von fremden Beimengungen herrührten oder wesentlich mit der chemischen Zusammensetzung der in Rede stehenden Substanzen in Verbindung standen, wird erst entschieden werden können, nachdem die Kohlenwasserstoffverbindungen untersucht worden sind, und namentlich nachdem festgestellt worden ist, ob es für eine solche Verbindung ein stabiles Spectrum giebt, oder ob dieselben, wie die Metallwasserstoff-

verbindungen, unmittelbar beim Durchgang des elektrischen Stromes zerfallen und nach Ausscheidung des Metalls das reine Wasserstoffspectrum geben.

Ich schliesse diese erste Reihe von Beobachtungen mit einem Beispiele der normalen Ueberlagerung der beiden Spectra des Wasserstoffgases und der Kohlensäure.

Schwefelkohlenstoff.

214) Die Elektroden waren von Platin. In dem engen Theile der Röhre war das Licht röthlich weiss, in ihm setzte sich ein Niederschlag ab, der dunkel schwefelgelb war und die schönsten Newtonschen Ringfarben zeigte.

Es wurden die Mitten der folgenden neun hellen Streifen bestimmt. Nachstehend sind für dieselben die Stellungen des Fernrohrs bemerkt und daneben die aus dem Früheren entlehnten, entsprechenden Stellungen des Fernrohrs für Wasserstoff- und Kohlensäurestreifen.

Rother Streifen . .	115° 28′	H_α	115° 28′
Dunkle Linie in der Mitte eines doppelten schwachen orange Streifens .	114° 54,5′	Mitte der ersten dunkeln Linie in $\ddot{C}_\beta$.	114° 55′
Schwacher gelber Streifen	115° 35′	siehe Alkohol . . .	114° 34,5′
Gelblich grüner Streifen	114° 16′	$\ddot{C}_\gamma$	114° 16′
Grüner Streifen . .	113° 30,5′	$\ddot{C}_\delta$	113° 31′
Grünlich blauer Streifen	112° 43′	H_β	112° 43′
Blauer Streifen . .	112° 37′	$\ddot{C}_\epsilon$	112° 37,5′
Violette Streifen . .	111° 34,5′	$\ddot{C}_\zeta$	111° 34,5′
	111° 6′	$\ddot{C}_\eta$	111° 6′.

Es ist ersichtlich, dass sämmtliche beobachtete Streifen sich in den Spectra des Wasserstoffgases und der Kohlensäure wiederfinden. Wenn sich Schwefelkohlenstoff durch den Strom in seine festen Bestandtheile zerlegte, so müsste, wenn absolut nichts als Dampf desselben in der Röhre sich befände, in dieser ein Gasvacuum entstehen, das dem Strome den Durchgang verwehrte. Wenn aber gleichzeitig noch eine Spur von Wasserdampf in der Röhre zurückgeblieben wäre, so würde auch dieser zersetzt werden. Dann würde das aus der Zersetzung hervorgehende Wasserstoffgas das eine der beiden sich überlagernden Spectra

geben, während das freigewordene Sauerstoffgas mit der Kohle sich zu Kohlenoxyd verbinden und das zweite dieser Spectra geben würde. Schwefel hatte sich sichtbar niedergeschlagen.

Ich habe schliesslich noch der Unterstützung zu erwähnen, die mir von Seiten meiner beiden Assistenten zu Theil wurde. Ebenso unermüdlich als umsichtig betheiligte sich Herr Ad. Dronke an sämmtlichen obigen Beobachtungen, wie früher schon an den Untersuchungen über die Einwirkung des Magneten auf die positiven Lichtströmungen in gasverdünnten Räumen. Mehrere der Substanzen, deren Spectra untersucht worden sind, waren von Herrn Kolter im Laboratorium des Prof. Landolt dargestellt worden.

Jod.

215) Die angewandte Röhre bestand, wie gewöhnlich, aus einer Kugel und einem weiten Cylinder, die durch eine Thermometerröhre mit einander verbunden waren. Die Elektroden waren von Aluminium und ragten an den beiden Enden in Kugel und Cylinder hinein. An den weiteren Cylinder war seitwärts, nahe der Thermometerröhre, eine engere Röhre angeschmolzen, die in ihrer Mitte einen Hahn hatte und, um Jod aufzunehmen, an dem entfernten Theile sich erweiterte. Ueber das Jod wurde Wasserstoffgas in das Innere des Hapttheiles des Apparates geleitet, und, nachdem alle Luft aus diesem fortgetrieben worden war, das freie Ende der Seitenröhre zugeschmolzen und der Hahn geschlossen. Dann wurde evacuirt, der Hahn geöffnet und wieder geschlossen, dann wieder evacuirt, und diese Operation einige Male wiederholt. Auf diese Weise wurde eine Röhre durch Herrn Geissler hergestellt, die Joddampf von der angemessenen Dichtigkeit neben einer kleineren Menge von Wasserstoffgas enthielt. Das Licht in Kugel und Cylinder war schön rehfarbig, in der engen Röhre schön grün. Das Spectrum des Jods [siehe Taf. VIII.] ist, nächst dem Spectrum des Stickstoffs, eines der farbenreichsten. Während des Durchgangs des Stromes kondensirte sich Jod an der negativen Elektrode; Folge davon war die beobachtete Erscheinung, dass nach einer Richtung der Strom leichter durch die Röhre ging, als nach der anderen. Bei jedem Oeffnen des Hahnes, nachdem der Strom längere Zeit hindurchgegangen war, schoss ein in sich zurückkehrender elektrischer Lichtstrom, *offenbar die zurückströmende ponderable Materie ergreifend*, durch die ganze Länge der seitwärts angeschmolzenen Röhre, schwächer leuchtend jenseits des Hahnes.

Es wurden die nachstehenden Messungen vorgenommen:

	Stellung des Fernrohrs.
Wasserstoffstreifen H_α, über den hinaus nur schwaches Roth sich zeigte	115° 28′
Schwarzer Raum.	
J_α. Vier rothe Streifen, durch dunkle Linien getrennt, von denen die mittlere 2,5′ breit und ganz schwarz. Grenzen der Streifen	verwaschen 115° 8,5′ 115° 8,5′ 115° 5′ 115° 2,5′ 114° 57,5′ 114° 57,5′ 114° 52,5′
J_β. Sehr schöner einfacher orange Streifen, zu dessen beiden Seiten Schwarz. Mitte	114° 47′
Zweite Grenze des an J_β anstossenden schwarzen Raumes	114° 34,5′
Zweite Grenze des folgenden hellen Raumes	114° 29,5′
Helle Linie in dem anstossenden dunkleren Raume . . .	114° 28′
Zweite Grenze dieses Raumes	114° 26,5′
Anstossender heller Raum, zweite Grenze	114° 23′
Dunkler Raum bis zum folgenden Streifen.	
J_γ. Zwei Paare aneinander liegender gelblich grüner Streifen. In dem ersten Paare ist der erste der beiden Streifen der hellere, in dem zweiten der zweite. Grenzen	114° 21′ 114° 15′ 114° 7′ 114° 1′
Dunkler Hintergrund.	
Einfacher schwarzer Streifen	113° 56,5′
Mitteldunkler Hintergrund.	
J_δ. Schöner grüner Streifen, nach dem Violetten hin durch eine schwarze Linie begrenzt. Mitte	113° 48,5′
Grenzen eines Doppelstreifens	113° 42′ 113° 36,5′
J_ϵ. Schöner einfacher Streifen. Mitte	113° 27′
Schwarzer Hintergrund.	
Zwei schwächere einfache Streifen.	
Wasserstoffstreifen H von gleicher Lichtstärke	112° 43′
Ein schwächerer einfacher Streifen.	
J_ζ. Einfacher schön blauer Streifen	112° 8,5′
J_η. Ein etwas weniger heller blauer Streifen	112° 2′
Zwei schwächere blaue Streifen.	
Ein dritter gleicher, der sich an den folgenden anlegt.	

	Stellung des Fernrohrs
J_ϑ. Einfacher schön violetter Streifen	111° 21,5′
Wasserstoffstreifen H_γ	110° 55′
J_ι. Einfacher violetter Streifen	110° 22,5′

Der Hintergrund zwischen H_β und J_ι ist farbig.

Die drei Wasserstoffstreifen treten verhältnissmässig zurück; wir haben ihre Lage bloss bestimmt, um eine Controle über die übrigen Messungen zu haben. Die stärkeren der dem Jod angehörigen Streifen haben wir durch α (Gruppe von vier einfachen rothen Streifen), β, γ (Gruppe von zwei grünlich gelben Doppelstreifen), δ, ε, ζ, η, ϑ und ι bezeichnet. Von diesen Streifen sind J_δ und J_ε die hellsten, dann folgen an Helligkeit der orange Streifen J_β und der blaue Streifen J_ζ, dann die vier rothen Streifen J_α und der violette Streifen J_ϑ.

Für die hauptsächlichsten Streifen ergiebt sich

	φ	μ	λ
J_β	57° 51,5′	1,7142	594,7
J_δ	58° 50′	1,7229	533,7
J_ε	59° 11,5′	1,7261	515,7
J_ζ	60° 30′	1,7376	466,1
J_η	60° 36,5′	1,7385	462,9
J_ϑ	61° 17′	1,7443	444,6
J_ι	62° 16′	1,7527	421,5.

Phosphor. Chlorphosphor.

216) Eine Geissler'sche Röhre mit Aluminiumelektroden, welche möglichst evacuirt wurde, nachdem vorher zur völligen Austreibung der Luft durch dieselbe während längerer Zeit Dampf von Chlorphosphor getrieben war, gab beim Hindurchgehen der Entladung des Ruhmkorff'schen Apparates ausser den früher bestimmten Chlorstreifen drei stärkere fremde Streifen, die wir durch P_α, P_β und P_γ bezeichnen wollen. Die Beobachtung ergab nämlich:

	Stellung des Fernrohrs
P_α, rother einfacher Streifen	115° 25,5′
Abwechslend schwache rothe und schwarze Streifen.	
P_β, schöner einfacher orange Streifen, auf beiden Seiten schwarz eingefasst*)	114° 53′

*) [Erscheint in der Darstellung auf Taf. VIII dreifach in Folge der stärkeren Dispersion.]

	Stellung des Fernrohrs.
Grenzen eines dreifachen Streifens	114° 2,5′ 113° 53,5′
Mitte Cl_β.	113° 34,5′
Grenzen von Cl_γ	112° 37,5′ 112° 28,5′
P_γ, schön violetter Streifen. Verwaschene Grenzen . .	111° 57′ 111° 51′
Das sichtbare Violett erstreckt sich mit schwarzen Streifen bis etwa	110° 2′.

Die Streifen zwischen P_β und P_γ gehören dem Chlor an, sie treten hier schöner auf als in dem Falle der Röhre, an welcher wir das reine Chlorspectrum bestimmt haben. Der dreifache durch schwarze Linien begrenzte Streifen besteht aus einem einfachen helleren, von dem auf beiden Seiten zwei schwächere durch schwarze Linien getrennt sind. Diese drei einfachen Streifen sind offenbar die drei ersten des vierfachen Streifens Cl_α. Für ihre Mitten geben die vorstehenden Zahlen mit den früheren (S. 588) einen Unterschied von einer Minute. Die Mitte des folgenden Streifens, der durch eine schwarze Einfassung scharf begrenzt ist, stimmt genau mit der früher bestimmten Mitte von Cl_β überein. Nur bildet hier, in dem helleren Spectrum, der dreifache Streifen mit dem einfachen Streifen Cl_β und dem dazwischen liegenden Raume ein einziges Streifensystem. Diesen zwischenliegenden Raum theilen drei schwarze Linien, von welchen die mittlere schwächer und schmäler ist, in vier grüne Streifen. Für den blauen Streifen, der durch zwei feine Linien in drei einfache Streifen getheilt wird, ergab sich die erste Grenze genau wie früher, die zweite rückte aber $1\frac{1}{2}'$ weiter, wonach jeder der einfachen Streifen die normale Breite von 3′ erhält und eine theoretische Schwierigkeit beseitigt wird.

Ob die drei fremden Streifen, für welche

	φ	μ	λ
P_α	57° 13′	1,7084	649,3
P_β	57° 45,5′	1,7133	602,4
P_γ	60° 44,5′	1,7397	459,1,

dem Dampfe des Phosphors oder des Phosphorchlorids angehören, lässt das Vorstehende unentschieden. Jedenfalls wird das Chlorid, theilweise wenigstens, zersetzt und Phosphor wird frei. Ob aber dieser oder theilweise noch unzersetztes Chlorid die fraglichen Streifen giebt, bleibt noch zu entscheiden.

217) Zu diesem Ende wurde ein neuer Versuch gemacht. Eine

Röhre, ganz ähnlich der Jodröhre, wurde hergestellt, und in dieselbe statt des Jods Phosphor in eine Atmosphäre von möglichst verdünntem Wasserstoffgase gebracht. Der Phosphor war durch einen Hahn von dem Haupttheile der Röhre getrennt. Die Röhre zeigte die reinen Wasserstoffstreifen, sonst nichts. Phosphordampf, bei der gewöhnlichen Temperatür, giebt also kein Spectrum. Unter fortwährender Beobachtung des Spectrums wurde, bei geöffnetem Hahne, der Phosphor ganz langsam durch eine Spiritusflamme erwärmt. Während hierbei immer mehr Phosphordampf in den Hauptheil der Röhre eindrang, traten keine neue Streifen auf, das Wasserstoffspectrum erblasste allmählig und erlosch zuletzt ganz. Nachdem der Phosphor erkaltet war, stellte sich das ursprüngliche Wasserstoffspectrum wieder her, wobei anfänglich der Strom in einzelnen Blitzen durchschlug, bevor er ruhig wie früher hindurchging.

Nach einigen Tagen wurde der Versuch in der Art wiederholt, dass, bei geschlossenem Hahne, der Phosphor erwärmt wurde, bis er zu schmelzen anfing. Das Spectrum war das reine des Wasserstoffgases. Nachdem der Hahn geöffnet worden war, verschwand es plötzlich, ohne dass vorher andere Streifen auftauchten. Der Phosphordampf wiedersetzte sich dem Durchgehen des Stromes. Das Wasserstoffspectrum konnte nach Erkaltung des Phosphors nicht mehr hergestellt werden, selbst nicht unter Anwendung einer grösseren Anzahl von Grove'schen Elementen. Hierbei traten nur und zwar an beiden Elektroden fast gleiche Lichtbüschel auf, und Phosphor wurde zu den umgebenden Glaswandungen übergeführt.

Die Flamme des verbrennenden Phosphors giebt, wie das Sonnenlicht, ein für das Auge continuirliches Spectrum, in welchem helle Linien fehlen.

Wir müssen hiernach einstweilen annehmen, dass die drei Streifen P_α, P_β und P_γ nicht dem reinen Phosphor, sondern einer Verbindung desselben mit Chlor angehören.*)

*) In dem farbenreichen Spectrum des Stickstoffgases finden sich zwar, wenigstens nahe an denselben Stellen, helle Streifen, aber neben diesen Streifen noch viele andere gleich helle. Wollte man also die Annahme machen, dass die drei fraglichen Streifen zurückgebliebenen Spuren von Luft angehören, so könnte man von dem Ausbleiben der übrigen Streifen keine Rechenschaft sich geben. In den häufigen Fällen, wo solche Stickstoffgasstreifen beobachtet worden sind, ist die Erscheinung überdies eine ganz andere.

37.

Abstract of a series of Papers and Notes concerning the Electric Discharge through Rarefied Gases and Vapours.

(Proceedings of the Royal Society of London, Vol. X., S. 256—269. 1860. Received Dec. 6., 1859.)

I. Action of the magnet on electric currents transmitted through tubes of any form.

The action exerted by a magnet on the luminous electric discharge, passing through a tube or any vessel of glass which contains residual traces of any gas or vapour, may be *generally* explained, if we regard the discharge as a bundle of elementary currents, which under the influence of the magnet change their form as well as their position within the tube, *according to the well-known laws of electro-magnetic action.*

The concentration of the discharge into one free arch only takes place, *if the arch be allowed to constitute a part of a line of magnetic force.* (According to theory, there is no magnetic action at all exerted on any element of a linear electric current which proceeds along such a line.) This condition, for instance, is fulfilled in the case of an exhausted sphere of glass, through which the discharge is sent by means of two small apertures, if the sphere be put on the iron pieces of an electro-magnet in such a way that the two apertures coincide with any two points of a line of magnetic force.

There is another case of electro-magnetic equilibrium, which takes place *if the current proceed along an „epibolic curve"*, i. e. along a curve falling within the interior surface of the vessel, whose elements, regarded as elements of an electric current, are perpendicular to the direction of the electro-magnetic force and impelled by this force towards the surface. An exhausted cylindrical tube, when equatorially placed on the iron pieces of the electro-magnet, presents the simplest instance of this case. All elementary currents are concentrated by the magnet

along one straight line, which, according to the direction of the discharge and to the magnetic polarity, occupies either the highest or the lowest position in the tube. When the axis of the tube makes an angle of 45° both with the axial and equatorial direction, the epibolic curve is found to be a fine spiral.

If neither of the two conditions mentioned above can be fulfilled, i. e. if the current cannot proceed either along a free magnetic or an epibolic curve, *no voltaic arch will be obtained; the current will be disturbed and its light diffused.* This for instance is the case, when the above-mentioned cylindrical tube is placed axially on the two poles of the magnet: there will be seen above each of these poles a luminous epibolic straight line, lying within the horizontal plane which passes through the axis of the tube, one on each side of this axis; but there exists neither a line of magnetic force nor an epibolic curve, joining the extremities of the two epibolic straight lines between the poles; hence diffusion of light.

There are other classes of phenomena, not at all indicated and explained by the laws of electro-magnetism. In many cases *the magnet extinguishes the light of the current without altering its intensity.* I sent the discharge of Ruhmkorff's apparatus at once through two exhausted tubes, communicating by a copper wire. The first tube, about eight inches long and highly exhausted, was brought over the iron-pieces of the electro-magnet into an equatorial position, while the second one was placed at some distance from the poles. Whilst the magnet was not excited, both tubes became luminous by the transmitted current; when it was excited, the light of the first tube entirely disappeared, while the appearance of the second did not undergo the least change. Hence we conclude that the disappearance of the light does not prove the extinction of the current.

Similar results are obtained when a tube having the shape of the annexed drawing is brought with its narrow middle part between the two iron pieces. In this case the light disappears, where the magnetic action is greatest, but not in the other parts of the apparatus. Sometimes before the light disappears, its colour is entirely changed, while in other cases, the magnetic force being less strong, only the change of colour takes place. The violet colour of sulphurous acid and of vapour of bromine is thus transformed into a fine green, and the blue of chloride of tin becomes a beautiful colour of pure gold.

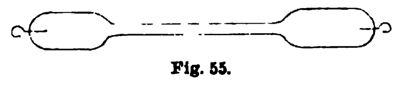


Fig. 55.

If the magnet be strong enough, a phenomenon of the same kind

is obtained, when in the above-mentioned experiment the larger tube is put equatorially on the iron pieces, and the current concentrated in the lowest part of the tube. Then, where the magnetic action is greatest, the illuminated epibolic straight line is interrupted, terminating in *two* cusps, which in the case of sulphurous acid show a green colour. Waving light goes from one cusp to the other. In a room quite dark, highly diffused light is seen moving from one pole to the other, along lines of magnetic force.

When the sphere previously mentioned is placed on the iron pieces so that the two opposite apertures fall within the equatorial plane, the transmitted current will be concentrated along an epibolic curve, which in this case is one of the two arcs of the great circle within the equatorial plane, supplementary to each other and joining the two apertures. If it be the lower arc, turned towards the magnet, the epibolic current starting from the positive wire terminates in a cusp, where the action of the magnetic force, supposed generally to be strong, is greatest, while from the opposite side waving light enters the sphere. In this case there is only *one* cusp.

II. The light of the negative wire bent by the magnet into curves and surfaces.

In order to render the new class of phenomena most brilliant and well defined, larger tubes of a cylindrical shape, into which long wires enter at both ends, are to be selected. The light surrounding the negative wire must be as bright as possible, and the well known dark space, by which it is bounded, must be very broad. The magnet acts on this light in a peculiar way, having no analogy with phenomena hitherto observed. I easily discovered the law giving in all cases the exact description of the phenomenon.

The light emanating from any not isolated point of the negative wire, and diverging in all directions towards the interior surface of the surrounding tube, *is bent by the action of the magnet into the magnetic curve, which passes through this point.* According to the law already mentioned, such a curve is the only one along which an electric current can move without being disturbed by the magnet. It equally represents the form which a chain of infinitely small iron needles, absolutely flexible and not subjected to gravity, would assume, if attached with one of its points in the point of the negative wire. It is well known that a magnetic curve is completely determined by a single one of its points. Therefore the whole light starting from all the different points of the negative wire *will be concentrated within*

a surface generated by a variable magnetic curve. The form of this „magnetic surface" varies according to the form of the negative wire and its position with regard to the poles of the electro-magnet. When the negative wire lies within the equatorial plane, the magnetic surface assumes the shape of a vault; when the wire lies within the axial plane, the whole surface is contained in the same plane and generally bounded by very well defined magnetic curves.

The negative light partly depends upon the substance of the wire. Particles of it, either pure or combined with the included gas, are carried off to the interior surface of the tube, which, when platinum wires are used, consequently is blackened. If not acted upon by the magnet, all the surface surrounding the platinum wire becomes black; if acted upon, only that line along which the surface of the tube is intersected by the magnetic surface, is blackened. *In this case, therefore, the particles separated from the wire move along magnetic curves.*

I think it most probable, that the luminous electric currents in question are double currents, — going from the wire to the glass and returning from the glass to the wire.

The importance of the use of magnetic curves, or lines of magnetic force, in experimental researches has been shown by several philosophers, especially by Mr. Faraday. Hitherto only filings of iron enabled us to give in peculiar cases an imperfect image of these curves.

We may now *trace through space such a curve in the most distinct way and illuminate it with bright electric light.*

III. The light of the positive wire and its spirals under the magnetic action.

The origin of the current takes place at the positive wire. If the negative wire is not too far from the positive, most striking phenomena are obtained, when the magnet is acting on the formation of the electric current. In these experiments I made use principally of highly exhausted spheres, about two inches in diameter, through which two platina wires, either parallel or perpendicular to each other, were conducted, whose shortest distance was about 0,8 of an inch.

When, for instance, the sphere with *parallel* wires is put on the iron pieces of the electro-magnet, so that both wires fall within the equatorial plane and are vertical, the whole circular section of the sphere passing through the negative wire is allmost uniformly illuminated by violet light, while the light of the positive electrode appears

at one of its extremities, whence it moves, along an epibolic curve, to the corresponding extremity of the negative wire. On reversing the polarity of the magnet, the illuminated epibolic curve passes from one extremity of the positive wire to the other, while the appearance of the negative light, after the reversion, is not at all altered.

When the positive wire terminates within the sphere, we get, according to the magnetic polarity, either an epibolic curve, or diffused light, starting from the free extremity of the positive wire towards the surface of the circle illuminated by the negative light.

When the sphere with *crossed* wires is put on the iron pieces so that the negative wire becomes vertical, the positive one horizontal and equatorial, — the whole surface of the axial circle passing through the vertical wire is illuminated, except the lower part, which is bounded by the magnetic curve, starting from the lower extremity of this wire. There is no light seen on the positive wire, which is intersected by the magnetic circular surface. On this surface the shadow of the positive wire is most distinctly traced. (Shadows of this description are, in general case, produced by beams of light starting from all points of the surface of the negative electrode and moving along the corresponding magnetic curves. Not even the positive wire deviates such beams of light from their curved paths.) Nothing at all is changed by a change of magnetic polarity.

When the sphere is turned round its vertical diameter, till the horizontal and positive wire passes from the equatorial direction into the axial, the whole surface of the axial circle passing through the negative wire is filled with illuminated magnetic curves. The positive light starts from the middle of the horizontal wire and moves round it, within the equatorial plane, towards the negative wire without interfering with the light emanating from this wire. It constitutes a fine spiral, separated by a dark space from the positive wire, taking its origin in a cusp and expanding more and more, when it approaches the negative wire. In changing the polarity of the magnet, instead of a single spiral starting from the middle of the wire we obtain two such spirals starting from the two extremities of the wire, impelled against the glass of the tube and revolving in the opposite sense.

The phenomena just described and all the various phenomena of the same class may be fully explained by the laws of electro-magnetic action. For this purpose we admit, that the first element of each elementary current starting from any point of the positive wire is directed towards the negative wire. This supposition follows from the observed fact, that the positive wire, if parallel to the negative, be-

comes luminous along its whole length on that side which is turned towards the negative wire. When acted upon by the magnet, these first elements, bound to the positive wire, are allowed to move freely along this wire. The single point or the system of points, where all the first elements meet before leaving the wire, may easily be determined. The following elements, subjected to the same force, are entirely at liberty to obey it. This action may generally be defined thus: — Imagine an element of the elementary electric current starting from any point of a magnetic curve, which connects both poles; imagine also the molecular currents (as assumed by Ampère) within the magnet continued round this magnetic curve. Then, if the element be perpendicular to the magnetic curve, the full action of the magnet turns it round the curve in a direction opposite to the direction of Ampère's molecular currents. If it be not perpendicular, this action is to be decomposed along the normal to the magnetic curve within the osculating plane.

I think it worthy of notice, that the same electro-magnetic laws, applied to magnetic action on an already formed electric current, either bound to the conducting wire or free to move in space, equally hold in determining the path of the current when acted upon by the magnet during its formation between the two electrodes. Thus a moving electric particle, under magnetic action and tending towards the negative electrode, may be regarded as describing a curve, in an analogous way as a projected material point does acted upon by gravity.

IV. Electric currents returning on their own path.

When only one of the wires of Ruhmkorff's apparatus is in contact with one of the electrodes of a long and large exhausted tube, while the second wire is isolated or, what is preferable, communicates with the earth, an electric current is obtained entering the tube and returning on its own path. The existence of the two currents is most evidently proved by the magnet, which, acting differently on both, divides the double current into two of the same intensity. This intensity is much increased by touching the tube with the hand at any distance from the electrode which communicates with Ruhmkorff's apparatus.

A double current of exactly the same description is obtained in a narrow tube, which may be one foot long, communicating with a larger tube, both electrodes of which are connected with the wires of Ruhmkorff's apparatus. When the extremity of the narrow tube is touched with the hand, a current starting from the principal tube

enters the narrow one, proceeds to its extremity, and finally returns to the principal tube: which is proved by the magnet.

When through a tube, whose shape is represented by the drawing (Fig. 56), the discharge was sent from A to B, the current, passing from the narrow tube into the surrounding larger one, was, when it arrived at the extremity of the narrow tube, partly branched off in an opposite direction towards A, and then, changing its course again, moved towards B.

There is another case, where returning currents are obtained. When the discharge on its way through a highly exhausted tube passes from a large space into a narrow channel, a part of the current is reflected and returns on its own path within the larger space: which is again proved by the magnet.

Mr. Gassiot first observed and described, what he calls „reciprocating currents“, and the separation of such currents by the magnet. That celebrated philosopher had the kindness himself to show me his experiment and even enabled me to repeat it, by obliging me with one of his fine Torricellian-vacuum tubes. I do not exactly know his opinion on the nature of those currents; for my part I think they are induced currents returning on their own path. This opinion was supported by the subsequent experiments.

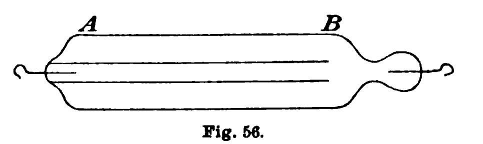


Fig. 56.

I got a hollow and highly exhausted sphere of glass about 2 inches in diameter, into which no wire entered, and placed it on the iron pieces of the electro-magnet. On touching the sphere with one of the wires of Ruhmkorff's apparatus, diffused light was spread through it. By the excited electro-magnet this diffused light was concentrated into a luminous stream which moved along the magnetic curve determined by the point touched from this point to another one, in which the interior surface of the sphere is intersected a second time by that curve, and evidently returned in the same curve from the second point to the first. When the point, where the sphere is touched by the wire, falls within the equatorial plane, no part of the magnetic curve in question, which in this case is a tangent to the sphere, enters it. In this peculiar case, the phenomenon is entirely changed, the light of the induced current constitutes an ascending or descending stream, proceeding along the epibolic curve within the equatorial plane. In reversing either the polarity of the magnet, or the direction of the discharge, the ascending stream is transformed into a descending one,

or *vice versa.* But there is no change of the appearance in the general case.

When the sphere is simultaneously touched by the two wires of Ruhmkorff's apparatus in two different points, we get within it two independent luminous currents, showing no reciprocal action on each other; and it is only when both points belong either to the same magnetic curve or to the epibolic one, that there is but one luminous arch along that magnetic or the epibolic curve.

All this shows, that Gassiot's induced streams are subject to the same laws, as the direct currents are, formerly observed by myself.

In all experiments mentioned in this section, the discharge of Ruhmkorff's apparatus may be replaced by the spark taken from the conductor of an electrical machine.

V. Fluorescence produced by the electric discharge.

Glass shows in sunlight scarcely any kind of fluorescence. A glass tube, including residual traces of a proper gas, becomes highly fluorescent when the electric discharge is sent through it: a fine green colour appears in the case of common German glass, a fine blue, if the glass contain lead. Hitherto I have tried in vain to get specimens of a different and well-determined chemical composition, which, without doubt, would offer new and curious cases of fluorescence.*) A beautiful fluorescence is obtained by surrounding suitable exhausted tubes, through which the discharge is passing, with a solution of aesculine, of fraxine, of sulfate of quinine, etc. If the tubes include residual traces of hydrogen, scarcely any fluorescing light is seen; if they contain traces of nitrogen, on the other hand, the fluorescence is very intense. All depends upon the nature and the density of the gas. In certain cases, a very faint electric light, scarcely seen by the eye, produces a brilliant fluorescence, especially when the light, if belonging to the negative wire, is concentrated by the magnet. M. Geissler, in constructing his tubes, first observed (about eighteen months ago) the fluorescence of gases, which even continue luminous some seconds after the interruption of the current: further researches will explain this curious phenomenon.

---

*) From the beautiful experiments recently made by E. Becquerel, we may deduce a saticfactory explanation of these phenomena.

VI. The spectra of the electric current in rarefied gases and vapours.

The light of the electric discharge through large tubes is rather too much diffused, to give a distinct spectrum. I made trial, therefore, of sending the discharge through a capillary tube, and fully succeeded. I got a brilliant luminous line within the tube, of which a beautiful spectrum was obtained by replacing the distant illuminated slit, which Fraunhofer used in his observations, by the self-luminous line. Afterwards I employed Babinet's goniometer. The slit of this instrument was illuminated by the current within the capillary tube, which was placed before it at a distance of about 0,4 of an inch. The aperture of the slit could be changed; but where it is not particularly mentioned, it was seen under a constant angle of 3′. After having interposed the prism of heavy flint glass, *the refracted image of the slit, in the general case, was found to be divided into a less or greater number of differently coloured bands, appearing each under the just-mentioned angle of three minutes.* Hence it follows, that the analysed electric light is *composed of a certain number of rays, whose refrangibility is a discontinuous one.* The refraction of each ray is determined by the angle between the middle lines of the image of the slit, seen directly, and of the corresponding refracted band. This angle is independent of the aperture of the slit, and remains the same, if the slit be reduced to a physical straight line.

There cannot exist a deflected band smaller than 3′; i. e. no such band appears under an angle less than the angle under which the aperture is seen directly, without the interference of the prism. This law holds through all my numerous observations of electric spectra (I find difficulty in applying it to the case of the common solar spectrum.) There are, in many instances, bands observed which are seen under an angle greater than 3′; but generally such bands are resolved into two or more bands of single breadth. In some instances where the angle in question does not reach the double of 3′, there appears in the middle part of the band a *bright line;* larger bands are generally divided by small, well defined *dark lines.*

In order to distinguish the rays of different refrangibility in the different gases, I denoted such a ray by adding to the symbol belonging to the gas the Greek letters α, β, γ, indicating the succession of the corresponding bands in each spectrum. Accordingly, for instance, the band N_γ, appearing under an angle of 6′, is divided by a dark line into two; the bands N_δ and N_θ, having each a breadth of 10′,

are divided by two dark lines into three single bands. The bands Hg_α and $SnCl_{2\gamma}$, 5′ broad, show a bright middle line.

The space between two bright bands is either absolutely black or of a greyish tint, or of a faint tint of that colour which is indicated by the position of the space within the spectrum. With regard to these faint tints, the eye, by the effect of contrast, is commonly a very bad judge of colour, and there may easily be a deception, admitting a succession of colours in the spectrum which in reality does not exist.

I cannot enter here in the details by which I obtained exact measures of the minimum refraction of the different rays. All measures were taken without deranging the adjustment of the goniometer; for ascertaining its constancy, each spectrum was compared with the spectrum of hydrogen. From the angles of refraction, I deduced the indices of refraction, and hence the corresponding lengths of waves expressed in millionths of a millimeter in order to get absolute numbers immediately comparable with those of others.

The discharge through a capillary tube containing residual traces of pure hydrogen is of a deep red colour; the spectrum obtained from it consists of only three bright bands: — of a most splendid red one, H_α; of a bluish green one, H_β, nearly as bright; and of a fainter violet one, H_γ. The following table contains the angle of refraction φ, the index of refraction μ, and the length of the wave λ, corresponding to each of the three rays H_α, H_β, H_γ, as well as of the dark lines of Fraunhofer, C, F, G, in order to compare their reciprocal position: —

φ			
H_α	57° 10,5′	C	57° 8,5′
H_β	59° 55,5′	F	59° 55,5′
H_γ	61° 43′	G	61° 55,5′

μ			
H_α	1,7080	C	1,7077
H_β	1,73255	F	1,73255
H_γ	1,7481	G	1,7498

λ			
H_α	653,3	C	656,4
H_β	484,3	F	484,3
H_γ	433,9	G	429,1

From this table it results that H_β exactly coincides with F, while H_α and H_γ approach very near C and G.

The spectrum of pure oxygen was only obtained after several unsuccessful trials to procure proper tubes, the gas being in most cases absorbed by the electrode during the passage of the current.

The spectrum of nitrogen is one of the richest in colours. Its less refrangible part is of a peculiar nature, having, from the exterior red to the limit of the yellow, seventeen equidistant small dark bands.

Most characteristic are the spectra of carbonic acid (oxyde of carbon), iodine, bromine, chlorine, chloride of silicium, chloride of phosphorus, chloride of tin. The spectrum of the last-mentioned substance is one of the most remarkable. The colour of the gas within the larger parts of the tube, through which Ruhmkorff's apparatus is discharged, is a dark blue, in the capillary part of the same tube the finest gold-colour, while the light surrounding the negative wire is of a fawn-colour. (The finest appearance is obtained with a larger tube containing residual traces of the vapour of this salt, put on the iron-pieces of a powerful electro-magnet; within the blue light of the discharge numerous golden flashes are produced, and variously directed by the magnetic force.)

A piece of metallic sodium within an atmosphere of rarefied hydrogen does not alter the spectrum of this gas when at the ordinary temperature; but when it is heated, a single brilliant yellow band is added to the three original bands of hydrogen. The middle of the new band exactly coincides with Fraunhofer's dark line D. The vapours of the metal are condensed in the cooler parts of the apparatus.

Phosphorus, when treated in the same way, instead of adding new bands to those of hydrogen, at a certain temperature even extinguishes the spectrum of the gas.

In the case of mercury, I gave to the tube the shape of the annexed drawing. The electrodes merely entered the two flask-shaped ends of the tube, where they were covered about half an inch with mercury. Peculiar bands were obtained without heating the mercury; when it was heated, the spectrum became most brilliant.

Fig. 57.

When traces of two gases, not acting on each other, are mixed within a spectrum-tube, the spectra of both are simultaneously obtained.

A result of some importance, following from the researches of which I have here given an abstract, is, that in all such dioptrical

researches, where Fraunhofer's dark lines were used in order to get exact measures, these dark lines may with great advantage be replaced by the middle lines of the new brilliant bands of the gas spectra. To these bands the most convenient breadth may be given in each particular case by regulating the aperture of the apparatus. A spectrum-tube of hydrogen, exhibiting three well-defined bright bands, is well suited for this purpose. During a whole year I made use of such a tube, which remained absolutely unaltered.

Every gas being characterized by its spectrum (even by one of the bands of the spectrum, the position of which is measured), we get a new kind of chemical analysis. In this way only we may ascertain the residual contents of the exhausted tubes, and the changes they undergo, either suddenly by discharge, or gradually afterwards. Thus, for instance, a spectrum tube in which traces of vapour of sulphuretted carbon were enclosed, presented most unexpectedly the combined spectra of hydrogen and oxide of carbon. Hence we conclude, that there remained also within the tube some traces of vapour of water, which was decomposed as well as the sulphuretted carbon. Traces of sulphur were deposited on the interior surface of the tube, while oxide of carbon and hydrogen remained within it.

Nearly all examined combinations of hydrogen with metals, with chlorine, etc., were almost instantly decomposed. The spectrum of hydrochloric acid was found to be the combined one of hydrogen and chlorine. Sulphur and arsenic were deposited from their combinations with hydrogen, the former constituting fine dendrites, the latter well-defined large bands: the spectrum in both cases was that of pure hydrogen. Seleniated hydrogen showed within the capillary tube a fine yellow tint, but this tint was converted during the passage of the discharge into a brilliant red one; the change of colour started from one of the extremities of the capillary tube, and reached the other one after a few seconds. The spectrum observed during this change of colour was in the first moment a most distinct one, showing, for instance, between H_β and H_γ two similar systems of two brilliant blue bands separated by a black one about double as large; but this spectrum entirely disappeared, as in dissolving views, being by and by replaced by the spectrum of hydrogen. A few minutes after the discharge was stopped the red colour turned again into the primitive yellow one, the gas decomposed by the discharge having been recomposed again. Thus the same experiment could be repeated any number of times.

(Similar chemical effects were ascertained in a different way in

the case of sulphurous acid, which, if included within a larger tube, shows a fine stratification of narrow violet bands. When the discharge passes during several minutes, the stratification is altogether changed, the narrow violet bands being transformed into the large clouds of the best Torricellian-vacuum-tubes. The primitive condition of the gas in restored by heating the electrodes, but in every new experiment the phenomena become less distinct than they were before.)

I think it most probable that, properly speaking, *electric light does not exist; the light which we see belongs to the gas, rendered incandescent by the thermal action of the current.* Accordingly, in our case, the colour of the appearing light depends upon the nature of the gas and the concentration of the current. This opinion is strongly supported by the observed fact, that the temperature of the capillary tube increases considerably in some instances. Considering that this increase of temperature has its source in the heat of the residual gas, which is too small in amount to be indicated by the balance, this heat being produced by the electric current, and communicated to the heavy substance of the tube; we have scarcely an idea of the *enormous* temperature of the gaseous electrode included in the capillary channel.*)

*) In some peculiar cases my primitive theoretical views were modified, reformed, or extended by subsequent experiments. The abstract now given refers only to what I think *at present* to be the state of the question.

38.

Ueber die Einwirkung des Magneten auf die elektrische Entladung.

(Annalen der Physik und Chemie, Bd. 113, S. 249—280, 1861.)

218) Die Einwirkung des Magneten auf die elektrische Entladung durch gasverdünnte Räume giebt sich, je nach den verschiedenen Bedingungen, unter welchen diese Entladung, deren Träger das verdünnte leuchtend werdende Gas oder die von den Elektroden fortgeführte Materie ist, auftritt, in den verschiedenartigsten Erscheinungen kund. Drei wesentlich verschiedene Fälle, in derjenigen Reihenfolge, wie ich sie beobachtet und in den früheren Mittheilungen beschrieben habe, sind die folgenden.

219) Der *erste* Fall ist derjenige, wo der Magnet auf den elektrischen Lichtstrom fern von den beiden Elektroden wirkt. Ist das verdünnte Gas zum Beispiel in einer cylindrischen Röhre eingeschlossen, so können wir den ganzen Lichtstreifen als ein Bündel von unendlich vielen, parallelen, elementaren Lichtströmen ansehen, die gegenseitig auf einander nicht merklich einwirken. Von dem Grade der Verdünnung hängt es ab, ob diese Elementarströme den ganzen inneren Raum der Röhre ausfüllen, oder sich auf einen dünnen Faden zusammenziehen. In diesem letzteren Falle verhält sich der Lichtfaden unter magnetischer Einwirkung ganz wie ein beweglicher Kupferdraht, der Träger eines Stromes ist. Die desfallsigen Erscheinungen hat Herr Delarive zuerst beschrieben. Ganz andere Erscheinungen treten aber bei starker Verdünnung auf. Dann füllt vor der magnetischen Einwirkung das Strombündel den ganzen inneren Raum der das verdünnte Gas enthaltenden Röhre aus, mit dieser Röhre zugleich sich erweiternd und verengend. Die Erscheinungen, die alsdann unter der Einwirkung des Magneten auftreten, lassen sich, in der obigen Annahme von nebeneinander herlaufenden beweglichen Elementarströmen, aus den bekannten elektromagnetischen Gesetzen grösstentheils zwar vorhersagen, aber nicht alle. Zu den unvollständig erklärten Erschei-

nungen zähle ich unter anderen das Auslaufen des Stromes in eine Spitze, zu der das Licht von der entgegengesetzten Seite flammenartig überfluthet, das Auslöschen des Lichtes des Stromes durch den Magneten und vor Allem die durch denselben hervorgerufenen farbigen glänzenden Blitze in gewissen verdünnten Gasen und Dämpfen (Chlor, Brom, Jod, Zinnchlorid, Schwefelsäure). Bei unserer völligen Unkunde über die Constitution der Körper und die davon abhängige Constitution des elektrischen Stromes kann es hier nicht überraschen, dass Erscheinungen von der Art der vorstehend erwähnten keine genügende Erklärung finden. Neue Hypothesen, die auf unserem gegenwärtigen Standpunkt nur den Charakter von Bildern und Symbolen haben können, werden so lange unvermögend sein, eine Erklärung zu geben, als sie nicht nähere Annahmen über die Natur des Stromes und seiner Träger involviren. Um zu diesem schliesslichen Ziele zu gelangen, scheint nichts so geeignet, als neue bestimmt charakterisirte Erscheinungen, die den obigen ähnlich sind, diesen hinzuzufügen und gemeinsam zu discutiren. An der äussersten Grenze der Verdünnung hört mit dem Vorhandensein hinlänglicher Menge ponderabler Materie der Strom auf; bevor noch der Strom aufhört, erlischt das sichtbare Licht desselben. Auf der anderen Seite, bei grösserer Dichtigkeit des gasförmigen Mediums, findet die Entladung bei gesteigerter Intensität in Blitzen statt, deren Träger vorzugsweise dieses Medium ist. Auf solche Blitze, wie sie auch die Elektrisirmaschine giebt, wirkt der Magnet nicht in irgend wahrnehmbarer Art.

220) Der *zweite* der oben erwähnten Fälle ist derjenige, wo der Magnet auf das in verdünnten Medien von der negativen Elektrode ausströmende, eigenthümliche Licht einwirkt. Dieses Licht zieht sich hierbei zu einer Fläche zusammen, dem geometrischen Orte aller derjenigen magnetischen Curven, die durch die verschiedenen nicht isolirten Punkte des in das verdünnte Gas hineinreichenden Theiles der Elektrode gehen und andererseits von der umgebenden Glaswandung begränzt werden. Auf diese Weise sind diese schönen mannigfaltigen Erscheinungen vollständig charakterisirt. Die bekannten elektromagnetischen Gesetze geben aber den theoretischen Satz, dass ein in einem seiner Punkte festgehaltener, linearer, elektrischer Strom, dessen Ausgangspunkt nicht näher bestimmt ist, unter der Einwirkung des Magneten nur dann im Gleichgewichte ist, wenn er die Form derjenigen magnetischen Curve annimmt, welche durch den festen Punkt geht und dadurch vollkommen bestimmt ist: sowie ferner, dass diese Curve auch dann dieselbe bleibt, wenn die Stromrichtung commutirt wird. Hieran knüpfen sich bestimmte Andeutungen über die physischen Bedingungen,

unter welchen das Licht am negativen Pole auftritt. Sind wir berechtigt anzunehmen, dass hier der Träger des elektrischen Stromes ponderable Materie ist, die unter der Einwirkung des Magneten auf den Bahnen magnetischer Curven zur umgebenden Glaswandung hingeführt, vielleicht bei der Intermittirung des Inductionsstromes hin- und hergeführt wird, bis sie an dem Glase schliesslich sich anlegt? Diese zusätzliche Hypothese scheint mir wohl begründet, namentlich darum, weil in Folge der Ablagerung der von der negativen Elektrode herrührenden Materie die innere Glaswandung sich ohne die besagte magnetische Einwirkung *gleichmässig*, unter dieser Einwirkung aber nur *da schwärzt, wo sie von denjenigen magnetischen Curven, aus welchen die Lichtfläche besteht, getroffen wird.*

221) Die mannigfaltigen Erscheinungen des *dritten* Falles betreffen den elektrischen Strom, der im verdünnten Medium von der positiven Elektrode ausgeht und bei hinlänglicher Nähe der negativen Elektrode und der gleichzeitigen Einwirkung des Magneten seine Bahn beschreibt. Indem wir die Wirkung der Elektrode als eine anziehende, die Wirkung des Magneten aber als eine nach den bekannten elektromagnetischen Gesetzen auftretende betrachten, können wir, was der Gegenstand einer früheren Mittheilung gewesen ist*), alle diese Erscheinungen (die hier mit den Erscheinungen des zweiten Falles gleichzeitig auftreten) unter allen Bedingungen im Voraus bestimmen. Träger, wenigstens Hauptträger, der Entladung ist hier das verdünnte Gas.

222) Wir wollen in dieser neuen Mittheilung einen *vierten* Fall genauer analysiren, wo unter Bedingungen, die von den bisher von mir besprochenen ganz verschieden sind, die elektrische Entladung der Einwirkung des Magneten gehorcht. Während nämlich der gewöhnliche Entladungsfunken, der in Gasen von gewöhnlicher Dichtigkeit eine gerade oder gebrochene Linie beschreibt, keine Ablenkung durch den Magnet erleidet, wird dieser Funken unter bestimmten Bedingungen von einer zweiten Entladung von verschiedenartigem Lichte und mehr nebelartigem Aussehen begleitet und von derselben gewissermaassen umhüllt. Diese secundäre Entladung, wie wir sie hier zur Unterscheidung nennen wollen, tritt vorzugsweise stark auf, wenn wir uns des grossen Ruhmkorff'schen Apparates bedienen und die directen Inductionsfunken, die eine Schlagweite von 30—36 ^{cm} gestatten, auf eine Entfernung von bloss 1—2 ^{cm} überschlagen lassen. Herr Ruhmkorff bemerkte bei der Prüfung seiner Apparate, dass das Licht dieser secundären Entladung jedem Luftzuge, so wie dem Magneten folgt. Vi-

*) Ann. Bd. 107, S. 88—113 [Abhandl. 35].

comte du Moncel hat bereits die desfallsigen Erscheinungen zusammengestellt*). Ich werde in dem Folgenden versuchen, dieselben näher zu charakterisiren und auf ihre Gesetze zurückzuführen.

223) Die schönsten Erscheinungen treten in dem Falle auf, wenn man die beiden Drahtenden der grossen Inductionsrolle in äquatorialer Lage zwischen die beiden genäherten Halbanker bringt. Statt dieser Elektroden wollen wir, mit Herrn Ruhmkorff, die messingenen Spitzen eines allgemeinen Entladers nehmen, mit dessen beiden isolirten Leitern die beiden Elektroden verbunden sind. Wir wollen überdies zunächst den Normalfall ins Auge fassen, dass zwei gleiche Halbanker, die entweder zwei breitere Flächen oder zwei abgerundete Knöpfe einander zukehren, symmetrisch auf die beiden Polflächen des grossen Elektromagneten aufgelegt sind, und dass in der Aequatorialebene die beiden Spitzen des Entladers mit der Mitte des magnetischen Feldes in gerader Linie liegen und zu beiden Seiten dieser Mitte von derselben gleichen Abstand haben. Vor der Erregung des Elektromagneten springt ein kleiner Funken in gerader Linie über, begleitet von jener verschieden gefärbten Lichthülle, die bei stärkerem Blasen die Form einer Flamme annimmt, deren Basis der Abstand der beiden Messingspitzen ist, und deren Spitze nach derjenigen Richtung, nach welcher geblasen wird, mehrere Centimeter weit abliegt. Wenn der Magnetismus erregt wird, so bildet sich in der Aequatorialebene eine schöne Lichtfläche, ohne bemerkbare Dicke, einerseits durch den ungestört überschlagenden blitzartigen Funken, andererseits durch einen scharfen Bogen begrenzt, der nahe die Form eines Halbkreises hat und auf dem Entlader in zwei Punkten aufsteht, die von den Spitzen desselben etwa zwei Centimeter entfernt sind. Bei regelmässiger Unterbrechung des Apparates behält die Lichtfläche eine ganz ruhige Lage, man bemerkt aber, dass sie nicht homogen ist: sie wird vielmehr von helleren Lichtlinien mehr oder weniger stetig durchzogen, die nahe parallel der äusseren Begrenzungscurve sind. Eine dieser helleren Linien steht gewöhnlich auf den beiden Spitzen des Entladers auf. Indem das Licht zwischen dieser Linie und dem blendenden, kleinen Blitze dem Auge dunkler erscheint, macht die Lichtfläche leicht den Eindruck eines breiten Streifens, der durch zwei concentrische Halbkreise begrenzt wird.

224) Die Lichtfläche besteht offenbar aus lauter leuchtenden Linien, die die Bahnen einzelner Entladungen zwischen den beiden Elektroden sind. Bei der Anwendung unserer Messingspitzen ist die Farbe der halbkreisförmigen Fläche violett; sie wird durch hellviolette Bogen

*) *Recherches sur la non-homogénéité de l'étincelle électrique.* S. 47 u. f. *Paris* 1860.

durchzogen, oft durch goldgelbe. Dieselben Farben finden sich in der ursprünglichen, die directe Entladung umgebenden Lichthülle.

225) Wenn statt der vorausgesetzten regelmässigen Unterbrechung des Apparates der geschlossene inducirende Strom einfach mit der Hand unterbrochen wird, so herrscht das gelbe Licht vor, die Dimensionen der elektrischen Lichtfläche nehmen bedeutend zu, die Begrenzung derselben ist aber, bei gleicher Schärfe, eine weniger stabile und regelmässige.

In dem vorliegenden Falle, sowie in allen nachfolgenden, tritt die durch den Magneten hervorgerufene Lichtfläche von einer Seite der die Spitzen des Entladers verbindenden geraden Linie auf die entgegengesetzte Seite hinüber, wenn entweder die Stromrichtung oder die magnetische Polarität commutirt wird. Sie wird bei der Commutation beider wieder die ursprüngliche. Wenn wir so vor dem Elektromagneten stehen, dass wir den Nordpol desselben zur rechten Seite haben, und der Strom auf uns zu gerichtet ist, liegt die Lichtfläche nach oben.

226) Die Lichthülle tritt, namentlich bei einzelnen Unterbrechungen, auch dann noch auf, wenn die Schlagweite auf 10 und mehr Centimeter vergrössert wird, in diesem Falle aber stärker nach der positiven Elektrode hin als nach der negativen. Der Magnet zieht dieselbe zu einem bandförmigen Streifen auseinander, der in der Aequatorialebene an den directen Entladungsfunken auf der einen oder anderen Seite desselben sich anlehnt.

227) Wenn die beiden Arme des allgemeinen Entladers mit Ausnahme der beiden einander gegenüberstehenden äussersten Spitzen vollkommen isolirt sind, so steht die durch den Magnet hervorgerufene Lichtfläche nur in diesen Spitzen auf denselben auf. Wenn hierbei die beiden Halbanker grosse Polflächen einander zukehren, so nehmen die Curve, welche die Lichtfläche zwischen ihnen begrenzt, und die Curven, welche dieselbe durchziehen, soweit die Schätzung des Auges reicht, genau die Form von Kreisbogen an, die sämmtlich auf der die beiden Spitzen des Entladers verbindenden geraden Linie, als gemeinschaftlicher Sehne, stehen. Dasselbe findet statt, wenn die beiden Halbanker conoïdische Spitzen einander zukehren, und demnach die magnetische Vertheilung in der Aequatorialebene symmetrisch ist um die Mitte des magnetischen Feldes (den Punkt, in welchem die Verbindungslinie der beiden conoïdischen Spitzen die Aequatorialebene trifft), vorausgesetzt überdies, dass die Endpunkte der Arme des Entladers gleich weit von dieser Mitte abstehen.

Der hellere Theil der Lichtfläche bildet hier einen Meniscus, während

er in dem Falle des nicht isolirten Entladers einen bandförmigen Streifen bildet, der von concentrischen Kreisbogen begrenzt wird.

228) Die Aequatorialebene schneidet alle magnetischen Curven unter rechten Winkeln und ist daher eine Niveaufläche. Die Richtung, nach welcher die elektromagnetische Kraft auf ein in dieser Ebene liegendes Stromelement wirkt, liegt in derselben Ebene und ist auf dem Elemente senkrecht. Ist die Aequatorialebene ein gleichförmig magnetisches Feld (was in der Mitte zwischen grossen Polflächen annähernd der Fall ist), und setzen wir voraus, der Stromträger sei ein vollkommen biegsamer Faden von gegebener Länge, dessen Endpunkte in der Aequatorialebene fest sind, so nimmt dieser Faden unter der Einwirkung des Magneten die Form eines Kreisbogens an, der durch seine festen Endpunkte und seine Länge vollkommen bestimmt ist. Der Kreis ist nämlich, wie bekannt, die einzige Gleichgewichtslage des Fadens, wenn auf alle gleich grossen Elemente des Fadens von der concaven Seite her gleiche normale Kräfte wirken.

Denken wir uns eine Reihe solcher, unter der Einwirkung des durchgehenden Stromes glühend werdender, unendlich feiner Fäden von wachsender Länge, die alle an den Endpunkten der Arme des Entladers befestigt sind, so erhalten wir dadurch ein treues Bild der Erscheinung der 227. Nummer.

Denken wir uns ferner einen solchen kreisförmigen Stromfaden, auf dessen concave Seite eine Kraft wirkt, die wir nach dem Vorstehenden als eine vom Mittelpunkte des Kreises ausgehende, gleichmässig abstossende ansehen können, so sucht diese Kraft den Faden auszudehnen und zwar, wenn dessen Verlängerung sich kein Hinderniss entgegenstellte, zu einem concentrischen Bogen von grösseren Dimensionen. In dem Falle, dass die Arme des Entladers nicht isolirt sind, und demnach die Endpunkte des Stromfadens frei auf demselben fortrücken können, würden unter der Einwirkung des Magneten, wenn überhaupt die Fäden an Länge zunehmen könnten, die *inneren* concentrischen Bogen der Erscheinung der angeführten Nummer in die *äusseren* übergehen. In dem Falle aber, dass die Arme des Entladers bis auf die äussersten Punkte isolirt sind, müssen auch nach der Verlängerung die kreisförmigen Stromfäden fortwährend durch diese beiden festen Punkte gehen.

229) Die vorstehenden theoretischen Betrachtungen waren für mich eine Veranlassung, die einschlagenden Versuche des Herrn Leroux zu wiederholen. Der Effect dieser schönen Versuche ist ein überraschender.

Verbindet man nämlich die Enden zweier Leitungsdrähte, die von den beiden Polen einer Batterie von etwa 4 Grove'schen Elementen

ausgehen, durch einen dünnen, mehrere Centimeter langen Platindraht, der unter der Einwirkung des Stromes glühend wird, und bringt dann, bevor der Strom geschlossen ist, die Endpunkte der dicken Leitungsdrähte zwischen die genäherten grossen Polflächen an die Stelle der Endpunkte der Arme des Entladers, so spannt sich nach Schliessung der Kette der dünne, lose herabhängende Draht, indem er glühend und dadurch geschmeidig wird; er stellt sich dabei in die Aequatorialebene und nimmt in dieser Ebene unverkennbar die Form eines Kreisbogens an, der auf der Verbindungslinie der Endpunkte der beiden dicken Leitungsdrähte als Sehne steht. Bei einer Commutation der Stromrichtung wie der magnetischen Polarität wirft sich der glühende Draht auf die andere Seite seiner Sehne herüber. Wenn man die beiden Drahtenden einander nähert, so fasst bei der unveränderten Länge des Platindrahts der durch den glühenden Kreisbogen bestimmte Abschnitt einen immer grösser werdenden Winkel.

230) Die elektromagnetische Kraft, welche auf die concave Seite der Stromfäden wirkt (228), spricht sich deutlicher noch in dem folgenden Versuche aus.

Wenn man zwischen grössere Polflächen in der Aequatorialebene statt der beiden Spitzen feine Kupferstreifen, die mit der Inductionsrolle des grossen Ruhmkorff'schen Apparates verbunden sind, in paralleler Lage und einer Entfernung von 10—12^{mm} einander gegenüberbringt, so können der Punkt, von welchem die Entladung durch die Luft ausgeht, und der Punkt, zu welchem dieselbe übergeht, beliebig auf den beiden parallelen Kupferstreifen fortrücken. Wir können bei übrigens gleicher Ajustirung wie früher (223) durch einfache Mittel bewerkstelligen, dass der blitzartige Entladungsfunken mit seiner Lichthülle an beliebigen Stellen der beiden Kupferstreifen überspringt, wenn wir diese vertical voraussetzen, an den beiden oberen Enden, an den unteren oder in der Mitte. Durch Erregung des Elektromagneten wird auch hier der blitzartige Entladungsfunken selbst von seinem ursprünglichen Wege nicht abgelenkt, die Lichthülle desselben aber wird, noch oben oder unten, 4—5 Centimeter in der Weise ausgebreitet, dass sie zwischen den beiden parallelen Kupferstreifen eine Lichtfläche bildet, die einerseits durch den Entladungsfunken, andererseits durch einen scharfen, kreisförmigen Bogen, der diesem Funken seine concave Seite zukehrt, begrenzt wird. Soweit an den als Anode auftretenden Kupferstreifen die Lichtfläche sich anlehnt, treten auf derselben in kleinen Entfernungen von einander kleine strahlende Lichtpunkte auf, die den hellen Lichtlinien, die die Fläche durchziehen, entsprechen. Nach einer Commutation der Stromrichtung oder der

magnetischen Polarität wirft sich die Lichtfläche auf die entgegengesetzte Seite des blitzartigen Entladungsfunkens herüber. Nach der gleichzeitigen Commutation beider tritt die ursprüngliche Erscheinung wieder auf; nur sind dann die strahlenden Lichtpunkte von einem Streifen zum anderen hinübergetreten.

231) Wenn die beiden Halbanker nicht symmetrisch sind, wenn namentlich einer grossen Polfläche des einen eine conoïdische Spitze des anderen gegenübersteht, so nimmt die fragliche Lichtfläche zwischen den Polen nur in der Nähe der grossen Polfläche die frühere Form einer ebenen Scheibe an (223, 227). Wenn die Enden der Arme des Entladers in symmetrischer Lage in die Nähe der conoïdischen Spitze gebracht werden, so krümmt sich die Lichtfläche, die fortwährend auf dem blitzartigen Entladungsfunken aufsteht, in solcher Weise, dass sie der Spitze ihre concave Seite zukehrt. Sie hat annäherungsweise die Form einer Niveaufläche, die von den, von der Spitze divergirend ausgehenden, magnetischen Curven senkrecht geschnitten wird.

232) Die durch die bisherigen Versuche gerechtfertigte Anschauung, dass die fraglichen magnetischen Lichtflächen von einzelnen Lichtlinien gebildet werden, die mit ihren Endpunkten auf den Armen des Entladers aufstehen und diejenige Form haben, welche ein von Elektricität durchströmter biegsamer Faden unter der Einwirkung des Magneten annimmt, behält in allen möglichen Fällen ihre Geltung, welche Lage der Entlader gegen den Magnet auch haben mag. Wir wollen, der Kürze wegen, voraussetzen, dass fortan zwei gleiche schwere parallelepipedische Halbanker, die grosse quadratische Flächen einander zukehren, symmetrisch auf den beiden Armen des grossen, senkrecht stehenden Elektromagneten aufliegen.

Wenn wir als Ausgangspunkt denjenigen Fall nehmen, dass die beiden Arme des Entladers in der Aequatorialebene liegen, und die Mitte zwischen denselben mit der Mitte zwischen den beiden Halbankern zusammenfällt, und dann die Arme des Entladers in der Aequatorialebene um diese Mitte drehen, so dreht sich die abgestossene Lichtfläche in dieser Ebene gleichmässig mit — was schon *a priori* sich ergiebt. Ist die Lage der Arme die horizontale, und heben wir dann dieselben senkrecht nach oben, bis sie zwischen den Polflächen heraustreten, so werden die magnetischen Lichtflächen fortwährend in der Aequatorialebene je nach der Stromrichtung und der magnetischen Polarität nach oben abgestossen oder zwischen die Anker hineingezogen. In dem letzteren Falle ist der scharfe Ton, der die Erscheinung immer begleitet, viel stärker als in dem ersteren. Höher

noch in der Aequatorialebene gehoben, zeigt sich darin, dass die Dimensionen der Lichtfläche abnehmen, die Abnahme der magnetischen Wirkung, die erst in sehr grosser Entfernung unmerklich wird.

Gehen wir wieder von der ursprünglichen horizontalen Lage der Arme des Entladers aus, führen diese aber, nachdem sie, senkrecht gehoben, zwischen den Polflächen herausgetreten sind, nach horizontaler Richtung in der Nähe der oberen Fläche eines der beiden Halbanker über denselben hinweg und in der Nähe der von der Aequatorialebene abgewendeten Fläche desselben wieder herab, so bleibt die Lichtfläche nahezu eine ebene Fläche und behält im Allgemeinen ihre Form. Aber während sie ursprünglich vertical nach oben oder unten gerichtet war, dreht sie sich continuirlich, wird nahe oberhalb der Mitte des Halbankers horizontal und zuletzt wieder, immer in demselben Sinne sich drehend, auf der abgewendeten Fläche des Ankers vertical; aber nun umgekehrt nach unten oder oben gerichtet.

233) Lassen wir den grossen Ruhmkorff'schen Apparat, statt zwischen den beiden Spitzen des Entladers, sich zwischen den schmalen Kupferstreifen der 230. Nummer entladen, indem wir diese oberhalb der Mitte der beiden Halbanker in axialer Richtung anbringen, so übt der Magnet keinen directen Einfluss darauf aus, an welcher Stelle der Streifen, in äquatorialer Richtung, der blitzähnliche Funken überspringt. Durch zwei auf den beiden Streifen einander gegenüberliegende kleine Erhabenheiten können wir diese Stelle fixiren. An diesen Funken lehnt sich immer die Lichtscheibe an. Wenn wir die beiden Streifen ihrer Länge nach continuirlich verschieben, so geht, während die Lichtscheibe sich fortwährend dreht, jener Funken mit. Nur in der Aequatorialebene ist die Lichtscheibe vertical, senkrecht gegen die Streifen, nach oben oder unten gerichtet. Rückt der Funken von dieser Lage aus oberhalb eines Halbankers fort, so geht die Lichtscheibe durch die horizontale Lage, wo sie seitlich durch die beiden Streifen begrenzt wird, hindurch, um diese Streifen nach unten oder oben wieder zu verlassen. Rückt der Funken von der Aequatorialebene aus oberhalb der Oberfläche des anderen Ankers fort, so ist die Erscheinung ganz dieselbe, nur dreht sich alsdann die Lichtscheibe in entgegengesetztem Sinne.

234) Wenn die beiden Kupferstreifen genau parallel und ohne alle Erhabenheiten sind, so ist die Stelle des Ueberschlagens keine stabile, nur scheint der Funken eine Prädisposition zu haben, da, wo er einmal übergeschlagen ist, auch ferner überzuschlagen. Ein Blasen mit dem Munde reicht hin, um die Stelle des Ueberschlagens zu ver-

rücken, wobei dann nach jeder Verrückung die magnetische Lichtscheibe durch die Kraft des Magneten anders gerichtet ist.*)

235) Es bleiben uns jetzt nur noch diejenigen Fälle zu discutiren übrig, wo der Inductionsfunken nicht mehr, wie bisher, in äquatorialer, sondern nach irgend einer anderen Richtung überschlägt. Ich kann mich aber hierbei um so kürzer fassen, als ich überall auf die sehr schönen Versuche des Herrn Leroux**) Bezug nehmen kann. Es sind nämlich in allen Fällen die Curven, welche die fraglichen magnetischen Flächen begrenzen und durchziehen, um mich kurz auszudrücken, „Leroux'sche Curven“, das heifst Curven von derjenigen Form, die ein dünner Platindraht von entsprechender Länge annimmt, dessen Enden die beiden Arme des Entladers in den entsprechenden Punkten berühren, und der durch den hindurchgehenden Strom glühend wird, wenn man den Entlader mit den Polen einer galvanischen Batterie verbindet.

Bringt man die Spitzen des Entladers oberhalb der beiden Halbanker des Elektromagneten in axiale Richtung gleich weit von der Aequatorialebene, so schlägt der blitzähnliche Funken des grossen Inductionsapparats, wie immer, in gerader Linie über; die magnetische Lichtfläche wird alsdann durch eine S-förmige Curve, die in der horizontalen Ebene liegt und die gerade Linie in ihrer Mitte schneidet, begrenzt. Die Curven, welche die Fläche durchziehen, sind continuirliche Uebergänge zwischen dieser Begrenzungscurve und der geraden Linie. Bei einer Commutation der Stromrichtung oder der magnetischen Polarität tritt jede der beiden Hälften der Lichtfläche, die zu beiden Seiten des Blitzes liegen, auf die entgegengesetzte Seite hinüber.

Wir haben vorausgesetzt, dass die Arme des Entladers mit Ausnahme der äussersten Spitzen isolirt seien; ist dieses nicht der Fall, so gehen, wie bisher, alle Curven durch die Mitte des Funkens, die Punkte der beiden Arme des Entladers aber, in welchen sie auf-

*) Das Fortrücken des Blitzes zwischen den beiden parallelen Elektroden ist offenbar keine directe Wirkung des Blasens. Fortgeblasen wird nur die ponderable Materie der erleuchteten Lichtfläche, und diese bestimmt den Weg des Blitzes. Durch den folgenden Versuch wird diese Anschauung bestätigt.

Ich entlud den grossen Inductionsapparat dicht über einer Polfläche des erregten Elektromagneten, sodass ich eine horizontale, regelmässig begrenzte Lichtfläche erhielt, die durch die Anwendung eines kleinen Centrifugalgebläses noch erweitert und mannigfaltig verzerrt wurde. Von Zeit zu Zeit traten hierbei im Inneren der Scheibe Blitze auf, die oft den ganzen Entladungsblitz ausmachten, oft als abgezweigte Blitze erschienen. In einem Falle folgte ein längerer Blitz genau der gezackten äusseren Begrenzung der Lichtfläche. Durch blosses Blasen, ohne magnetische Mitwirkung, wurde später Aehnliches erreicht. (Siehe erste Note, Nr. 248.)

**) [Leroux, Ann. de Chim. et de Phys. (3), T. 61, p. 409; 1860.]

stehen, erstrecken sich von den Spitzen derselben bis zu einem gewissen Abstande von denselben.

Wenn die Arme des Entladers in der axialen Ebene des Elektromagneten verschoben werden, bis die Spitze des einen in die Aequatorialebene fällt, während die Spitze des anderen oberhalb eines Halbankers liegt, so rückt die ganze Lichtfläche auf dieselbe Seite des Funkens und nimmt hier vergrössert nahezu die Form der früheren halben Fläche an.

Wenn der Entlader in eine solche Lage gebracht wird, dass der Funken in der Nähe einer Kante der parallelepipedischen Anker in axialer Richtung so überschlägt, dass seine Mitte in die Aequatorialebene fällt, so besteht die Begrenzungscurve der Lichtfläche aus zwei symmetrischen Hälften, welche nicht mehr eben, sondern gewunden sind.

---

236) Die in dem Vorstehenden erörterte, von den Herren Ruhmkorff und du Moncel zuerst beobachtete Wirkung des Magneten auf die Entladung des Inductionsapparates ist absolut verschieden von derjenigen, die ich meinerseits zuerst beobachtet und auf ihre Gesetze zurückgeführt habe. Es würde hierin ein unlösbarer Widerspruch liegen, wenn nicht die Umstände, unter welchen die beiden Classen von Erscheinungen auftreten, in allem Uebrigen zwar vollkommen identisch, in einem Punkte aber, der Dichtigkeit des umgebenden Mittels, verschieden wären. Hiernach schon können wir das merkwürdige Resultat aussprechen, *dass die magnetische Wirkung auf die elektrische Entladung, ihrer Art nach, eine ganz andere ist bei möglichster Verdünnung und bei grösserer Dichtigkeit des umgebenden Mediums*, und dies kommt darauf hinaus, *dass die Entladung selbst in den beiden Fällen von anderer Art ist.*

237) Die Beobachtung des allmählichen Ueberganges der einen Art von magnetischer Wirkung zur anderen giebt neue Aufschlüsse über theoretische Fragen, und wir begegnen hierbei den überraschendsten Erscheinungen. Unsere desfallsige experimentale Aufgabe ist, indem allmählig Gas zugeführt wird, die Erscheinung zu verfolgen von der einen Grenze an, wo die schönen aus magnetischen Curven gebildeten Flächen am negativen Pole auftreten, zu denen das mehr diffuse Licht von der positiven Elektrode überfluthet, ohne sich jedoch damit zu verschmelzen, bis dahin wo, an der anderen Grenze, ein Blitz überschlägt, der für sich selbst der Kraft des Magneten nicht gehorcht, aber von einer Lichthülle begleitet ist, die der Magnet unter starkem schmetterndem Geräusche zu einer gleichschönen Lichtfläche ausbreitet, die von Curven ganz anderer Art (die z. B., wenn die Elektroden in

der Aequatorialebene liegen, die magnetischen Curven unter rechten Winkeln schneiden) gebildet und scharf begrenzt wird. In theoretischer Hinsicht knüpft sich daran vor Allem die Frage, was in den beiden extremen Fällen und den Uebergangsfällen Träger der elektrischen Entladung sei, ob von den Elektroden herrührendes Metall, ob das Gas der Umgebung, ob gleichzeitig beide. Da Verschiedenheit des Metalles, aus welchem die Elektroden bestehen, und namentlich Verschiedenheit des umgebenden Gases ganz wesentlich andere Erscheinungen hervorbringt, so werden wir zunächst darauf hingewiesen, verschiedene Metalle mit verschiedenen Gasen zu combiniren. Spectralbeobachtungen geben hierbei die sichersten Resultate. Complicirt werden die Beobachtungen besonders aber auch noch dadurch, dass die Art des Inductionsfunkens (des elektrischen Funkens überhaupt) auf die Erscheinung von grösstem Einflusse ist.

238) Zum Behuf der hierdurch angezeigten Untersuchungen liess ich in der Werkstatt des Herrn Geissler hierselbst einen Apparat anfertigen, der allen Anforderungen vollkommen entsprach.

Ein ellipsoïdisches Glasgefäss, dessen grösster Querdurchmesser 48^{mm} betrug, hatte an den beiden Enden seiner grossen Axe soviel von der Röhre, in deren Mitte es ausgeblasen worden war, behalten, als zur Aufnahme von eingeriebenen Glasstöpseln erforderlich war. In diese Glasstöpsel waren Platindrähte eingeschmolzen, die in das Ellipsoïd hineinragten und in demselben von einer Glasröhre umgeben waren. Stäbe von verschiedenen Metallen, 24^{mm} lang und $2-3^{mm}$ dick, an einem Ende conoïdisch abgerundet und an dem anderen Ende mit einer nach der Axe 15^{mm} tief eingebohrten feinen Oeffnung versehen, liessen sich in die Glasröhre stecken, in der sie genau passten, und dabei zugleich auf den feinen Platindraht verschieden tief aufschieben, so dass die conoïdischen Enden der beiden Metallstäbe in der Mitte des Ellipsoïds nach der Axe desselben einander gegenüber in eine feste Entfernung bis zu etwa 13^{mm} gebracht werden konnten. Zwischen diesen Enden fand die Entladung des Inductionsapparates statt, wenn dieser mit den aus den beiden Stöpseln hervorragenden Enden des eingeschmolzenen Platindrahtes verbunden wurde. Seitwärts an einem der beiden gebliebenen kleinen Röhrenstücke, in welchen die Stöpsel eingeschliffen sind, ist eine Röhre angeschmolzen und durch eine Biegung in die Axe des Ellipsoïds zurückgeführt, wo sie mit einem Glashähnchen (I) versehen ist, sowie in einer Entfernung von einigen Centimetern mit einem zweiten (II). Jenseits dieses zweiten Hähnchens ist eine grössere Kugel angeschmolzen, auf deren entgegengesetzter Seite eine der früheren gleiche Röhre, wiederum mit einem Hähnchen (III) versehen, mündet.

Der ganze Apparat wird, nachdem die beiden Stöpsel eingesteckt und die drei Hähnchen geöffnet worden sind, mit trockenem Gase gefüllt, dann möglichst stark evacuirt, und diese Operationen nach Umständen wiederholt, um in dem ellipsoïdischen Behälter ein möglichst vollkommenes *Vacuum des reinen Gases* herzustellen. Dann wird, nach Schliessung der Hähnchen (I) und (II), dasselbe Gas in den grösseren Behälter gebracht, und dabei zugleich seine Dichtigkeit gemessen, dann endlich auch das dritte Hähnchen (III) geschlossen. Hierauf wird der Apparat mit dem ellipsoïdischen Behälter auf die genäherten Halbanker des grossen Elektromagneten gebracht, und, während der Inductionsstrom durchgeleitet wird, zuerst das Hähnchen (II) geöffnet und wieder geschlossen, dann (I) geöffnet und wieder geschlossen. Diese zwiefache Operation wird beliebig oft wiederholt, und dadurch beliebig oft eine kleine Quantität von neuem Gase in den ellipsoïdischen Behälter eingelassen. Nach vorhergegangener Calibrirung der verschiedenen Räume des Apparats lässt sich diese Quantität und daraus die Dichtigkeit des Gases in dem ellipsoïdischen Behälter berechnen.

Bei dem fraglichen Uebergange zwischen den verschiedenen magnetischen Erscheinungen handelt es sich um sehr kleine Gasmengen. Wir können nach dem vorstehenden Verfahren verschwindend kleine Gasmengen zutreten lassen, wenn wir dem Gase in dem grösseren Behälter eine geringe Dichtigkeit geben.

Auch können wir in dem ellipsoïdischen Behälter zu einem gegebenen Gase ein *anderes* treten lassen. Wenn mit Luft und in Luft operirt werden soll, so können wir bei den gewöhnlichen Versuchen den Apparat zwischen den beiden ersten Hähnchen durchschneiden und nur den Theil mit dem ellipsoïdischen Behälter beibehalten. Nachdem derselbe möglichst evacuirt worden, können wir mit dem Finger die Oeffnung der Röhre verschliessen, dann das Hähnchen öffnen und wieder schliessen, bevor wir den Finger fortnehmen. Auf diese Weise können wir ein leicht zu bestimmendes Minimum von Gas einführen. Demselben entsprach in dem ellipsoïdischen Behälter bei unserer ersten Versuchsreihe nach ungefährer Bestimmung eine Spannkraft von $4-5^{mm}$.

239) Es genüge hier diese eine Versuchsreihe näher zu beschreiben. Die Elektroden waren von käuflichem Aluminium, der Abstand ihrer Spitzen betrug $10-12^{mm}$. Sie ragten aus dem sie umgebenden Glase $4-5^{mm}$ hervor. Ich bediente mich zuvörderst des kleinen Ruhmkorff'schen Apparates, der durch drei Grove'schen Elemente in Thätigkeit gesetzt wurde. Die Röhre lag äquatorial auf.

Bei möglichster Verdünnung war das Licht vor der magnetischen

Erregung fast farblos und hatte nur am negativen Pole einen schwachen Stich ins Violette. Die stärkste Ausstrahlung ging von der negativen Elektrode aus; die hellsten Strahlen bildeten eine durch die Spitze derselben gehende senkrechte Scheibe, die bis zur Glaswandung sich erstreckte, doch auch nach der Seite der positiven Elektrode hin fand die Strahlung statt, ohne dass eine Vermengung des Lichtes der beiden Elektroden einträte, während auf der anderen Seite der Scheibe die Strahlen in geringer Entfernung erloschen. Um die positive Elektrode bildete sich zunächst an der Stelle, wo sie aus der sie umgebenden Glasröhre heraustrat, ein intensiv weisser Ring, und in ähnlichem Lichte leuchtete die Spitze derselben. Im Uebrigen war diese Elektrode von einer schwachen Lichthülle rings umgeben, deren unbestimmte convexe Begrenzung von der nicht weniger unbestimmten Begrenzung der negativen Lichtstrahlung durch einen dunklen Raum geschieden war. Einzelne Lichtpunkte traten auf der Elektrode in der Lichthülle hervor.

Nach Erregung des Magneten bildete sich die bekannte schöne, gewölbeförmige, auf der Glaswandung aufstehende, nach magnetischen Curven gekrümmte, schwach blau-violett gefärbte Lichtfläche, deren Breite, dem aus der Glasröhre hervorragenden Theile der negativen Elektrode entsprechend, 4—5^{mm} betrug. Diese Fläche ist unabhängig von Stromrichtung und magnetischer Polarität. Abhängig hiervon zieht sich das weisse Licht der positiven Elektrode entweder nach der oberen oder unteren Seite derselben und fluthet von hier nach dem hellsten Theile der negativen Lichtfläche über, jedoch wiederum ohne sich mit derselben zu vermengen.

Die erste Zuströmung von Luft erfolgte, während der Strom hindurchging und der Magnet erregt war. Plötzlich trat an die Stelle der früheren Erscheinung ein *intensiv roth* gefärbter Bogen von der positiven Elektrode ausgehend, nach oben oder unten gezogen zur negativen Elektrode hingewendet, die ihrerseits nun mit einer intensiv violett gefärbten Lichthülle rings umgeben war, von welcher nach beiden Seiten die magnetische Lichtfläche ausging, sich aber nur auf einige Entfernung erstreckte, ohne, wie früher, die Glaswandung zu erreichen. Das Ende des rothen Bogens bildeten zwei abgesonderte meniskenförmige Wolken von gleichem Lichte, die ihre convexe Seite der negativen Elektrode zuwendeten.

240) Nach einer zweiten Luftzuströmung reducirte sich die magnetische Lichtfläche auf zwei blosse Ansätze zu beiden Seiten der um die negative Elektrode enger zusammengezogenen, violetten Lichthülle. Sie verschwand nach einer dritten Luftzuströmung gänzlich. Der rothe

Bogen nahm an Ausdehnung zu, indem die Lichtschichtung immer regelmässiger, die Anzahl der Schichten grösser wurde. Er näherte sich dabei immer mehr einer ebenen Fläche. Nach neun Luftzuströmungen erschien diese Fläche weniger intensiv roth, und die Schichtung war unbestimmter geworden. Sie hatte an Ausdehnung gewonnen und verbreitete sich, indem sie nach oben (oder unten) über einen Theil der negativen Elektrode, die eine intensiv blau-violette enge Lichthülle behalten hatte, sich hinzog, nach dieser Elektrode und nach oben (oder unten) scharf begrenzt und *mit einem schön gelben Rande eingefasst.* Das Licht der beiden Elektroden war immer durch einen dunklen Raum scharf geschieden. Ohne magnetische Erregung war die violette Lichthülle nahe dieselbe, das schön rothe Licht aber bildete ein scharf begrenztes, fast regelmässiges, verlängertes Rotations-ellipsoïd, das mit seiner grossen Axe von der positiven Elektrode an bis in die Nähe der negativen sich erstreckte und etwa dreimal länger als dick war. (Dieses Ellipsoïd entwickelt sich bei allmähliger Luftzuströmung — was bei *Kupfer*elektroden beobachtet wurde — aus einem *blossen strahlenden Punkte* am Ende der positiven Elektrode, aus welcher der Magnet sogleich die rothe Lichtfläche hervorruft; anfänglich ist das Ellipsoïd klein, liegt an der positiven Elektrode an, mit seiner grossen Axe der negativen Elektrode zugewandt, und wächst allmählig, seine relativen Dimensionen nahezu beibehaltend.) Nach vierzehn Luftzuströmungen war bei Nichterregung des Magneten das violette Licht bis auf ein Minimum verschwunden, das am äussersten Ende der negativen Elektrode auftrat. Die rothe Lichtergiessung, die von der Spitze der positiven Elektrode aus in der Form eines dicken Drahtes bis in die Nähe des violetten Lichtes sich hinzog, war rings umher von gelbem Lichte umgeben. Nach der Erregung des Magneten verschwand das violette Licht vollständig. Es trat ein geradliniger Funken von grösster Feinheit zwischen den Polen auf und bildete hier die scharfe Grenze der Lichtfläche, die nach oben (oder unten) durch einen Halbkreis begrenzt wurde. Das rothe Licht der Fläche wurde momentan durch gelbe Bogen durchzogen und von Zeit zu Zeit durch einen breiteren concentrischen Ring von schön gelbem Lichte nach Aussen begrenzt. Wir haben hier bei schwächeren Inductionsströmen im luftverdünnten Raume ein getreues Bild der in der 223. Nummer beschriebenen Erscheinungen, wo unter dem gewöhnlichen Atmosphärendruck durch den grossen Inductionsapparat *dieselben* Kräfte stärker und geräuschvoller auftreten. Bei fernerer Luftzuströmung nimmt der Funken auf Kosten der Lichtscheibe an Intensität zu.

241) Schon nach den ersten Luftzuströmungen färbte sich das

Innere des ellipsoïdischen Behälters gelblich roth, nach vierzehn derselben schon sehr stark (stärker bei Anwendung von Kupferelektroden). Die Bestandtheile der Luft hatten sich theilweise chemisch zu Stickoxyd und dieses wieder mit dem Sauerstoff der noch übrigen Luft verbunden. Es ist wohl keinem Zweifel unterworfen, dass die auf diese Weise fortwährend sich bildende salpetrige Säure oder Untersalpetersäure Träger des so merkwürdig auftretenden gelben Lichtes ist. In anderen Gasen wenigstens, namentlich in Wasserstoffgas, tritt, bei denselben Elektroden, dieses Licht *nicht* auf.

242) An Schönheit, Helligkeit und Schärfe lassen die eben beschriebenen, durch den kleinen Induktionsapparat hervorgerufenen Erscheinungen nichts zu wünschen übrig. Die Anwendung des grossen Apparates (von den sechs grossflächigen Zink-Kohlen-Elementen, die Herr Ruhmkorff seinem Apparate beigiebt, und die man ohne Gefahr für denselben anwenden kann, nahm ich nur vier) bietet aber Eigenthümlichkeiten dar, die bemerkenswerth sind. Wenn wir nämlich wiederum von der grössten Verdünnung ausgehen, so tritt bei einer Unterbrechung des inducirenden Stromes dieselbe Lichtstrahlung auf, wie früher, ohne entsprechend verstärkte Intensität. Wenn man dann den inducirenden Strom wieder herstellt, so tritt dieselbe Erscheinung mit fast gleicher Intensität auf; nur vertauschen sich in derselben die beiden Elektroden, dadurch bedingt, dass der inducirte Strom seine Richtung geändert hat. Wenn unter Anwendung des Ruhmkorff'schen Commutators die Unterbrechungen und Schliessungen so rasch erfolgen, dass für das Auge die Erscheinung eine continuirliche wird, so sehen wir *gleichzeitig* die doppelte Erscheinung, wie sie, bei Anwendung des kleinen Apparates, *nach einander* auftritt, wenn wir die Richtung des inducirenden Stromes commutiren. Nach Erregung des Magneten bilden sich zwei schöne magnetische Lichtflächen, die durch die aus der umgebenden Glasröhre hervorragenden Enden der beiden Elektroden gehen und auf der inneren Glaswandung des ellipsoïdischen Behälters stehen: ganz von gleicher Färbung und Gestalt. Zu ihnen fluthet diffuses Licht, bezüglich nach oben und unten, von der jedesmaligen anderen Elektrode über. Der Unterschied in der Intensität der beiden Lichtflächen ist um so kleiner, je rascher der Commutator geht.

243) Nach einer einmaligen Luftzuströmung trat um beide Elektroden eine intensiv blau-violette Lichthülle auf, die früheren magnetischen Flächen reichten nicht mehr bis zur Glaswandung herab. Von den beiden Elektroden gingen zwei schöne rothe Bogen, der eine nach oben, der andere nach unten, wie wir sie früher beschrieben haben.

Die magnetische Lichtfläche einer der beiden Elektroden und der rothe Bogen der anderen hatten eine etwas geringere Ausdehnung als die andere Lichtfläche mit ihrem zugehörigen rothen Bogen. Als mit der Hand der inducirende Strom geöffnet wurde, trat die violette Hülle und der Anfang der magnetischen Lichtfläche nur an einer Elektrode auf, und an der anderen der rothe Bogen: beides mit grösserer Intensität. Als dann aber nach einigen Augenblicken der inducirende Strom wieder geschlossen wurde, blieb mit dem inducirten Strome jede Lichterscheinung aus. Als aber *sogleich* nach dem Oeffnen des Stromes derselbe wieder geschlossen wurde, trat mit vertauschter Stromrichtung die Lichterscheinung wieder auf und zwar um so intensiver, *je kürzer* das Zeitintervall zwischen Oeffnen und Schliessen war. Es gilt dies sowohl *unter* als *ohne* Einwirkung des Magneten.

244) Der Unterschied in der Intensität der den beiden Strömen von entgegengesetzter Richtung entsprechenden, für das Auge gleichzeitigen Lichterscheinungen wurde bei wiederholter Luftzuströmung immer grösser, bis der von der einen Elektrode ausgehende rothe Bogen und die violette Lichthülle der anderen Elektrode ganz verschwand.*) Als dies aber eintrat, bildete sich ein feiner, zwischen den beiden Elektroden überschlagender Blitz, auf der einen Seite eine halbkreisförmige Scheibe begrenzend, welche gleichmässig in dem früher schon erwähnten, intensiv gelb-orangenem Lichte leuchtete. Bei fortwährend zunehmender Dichtigkeit der umgebenden Luft wurde der Blitz stärker, und rothes Licht mengte sich mit dem gelben Lichte der Scheibe.

245) Meine früher mitgetheilten Beobachtungen über die magnetischen Lichterscheinungen bei genäherten Elektroden haben durch das Vorstehende ihre Bestätigung, zugleich aber, in Beziehung auf den verschiedenen Grad der Verdünnung des umgebenden Mediums, eine nähere Determination erhalten. Die Gesetze, die ich aus jenen Beobachtungen über die Einwirkung des Magneten auf das Licht des positiven Poles abgeleitet habe, bestehen so lange, bis bei hinlänglicher Dichtigkeit des Gases eine vollständige Lichtbrücke zwischen den beiden Polen

---

*) Auf diese Weise wird die bekannte Thatsache dem Auge sichtbar, dass bei zunehmendem Widerstande der Schliessungsstrom gegen den Oeffnungsstrom immer mehr zurücktritt und bald ganz verschwindet. Als eine Atmosphäre von Wasserstoffgas genommen wurde, geschah dieses langsamer. Bei unserer Evacuirungs- und Füllungsmethode hat es keine Schwierigkeit, die Dichtigkeit zu bestimmen, wo bei gegebener Stromstärke der Oeffnungsfunken in verschiedenen Gasen aufhört durchzuschlagen. Ueber die physikalische Bedeutung der Constanten, die auf diese Weise sich ergeben, gehe ich hier in keine weiteren Erörterungen ein.

sich gebildet hat. Dann treten die in den vorstehenden Nummern 228 bis 230 entwickelten Gesetze ein.

Wir haben hier nur den einfachsten Fall, dass die Elektroden ihre Spitzen einander zukehren, behandelt und diese Spitzen in die äquatoriale Lage gebracht. Viel mannigfaltigere Erscheinungen ergeben sich, wenn wir die Entladung in allmählig an Dichtigkeit zunehmenden Gasatmosphären, wie in der früheren Mittheilung, zwischen parallelen oder gekreuzten Elektroden in verschiedener Lage gegen den Elektromagnet stattfinden lassen.

246) Wir haben in dem Vorstehenden überall den gewöhnlichen Funken des Ruhmkorff'schen Apparates genommen. Wenn wir von den beiden Säulen, in welchen die Enden des inducirten Drahtes eingeklemmt sind, nach Ruhmkorff's Angabe ausser den Elektroden, zwischen welchen der Funke überspringt, noch zwei Elektroden zu den beiden Belegen einer passend gewählten Leidener Flasche leiten, so ist die Art der Entladung eine ganz andere. Ich führe in dieser Beziehung nur ein schlagendes Beispiel an. Während der gewöhnliche Funken bei der bisherigen Schlagweite in Wasserstoffgas bei einer Spannkraft von etwa 300^{mm} sehr schwaches Licht hat und ein blasses Spectrum giebt, in dem keine Farbe vorherrscht, erhalten wir bei der oben angeführten Ajustirung einen ungemein intensiv rothen Funken, dessen Spectrum ein vollständiges ist, in welchem die drei Wasserstoffstreifen mit blendendem Glanze hervortreten. Es wurde dabei der grosse Apparat durch vier grosse Elemente erregt.

247) Bei äusserster Verdünnung sind in verschiedenen Gasen, sowohl vor als unter der Einwirkung des Magneten, die Erscheinungen ganz dieselben als in der Luft.

(Wird fortgesetzt.)

Erste Note.

Ueber Blitze, die der Magnet im diffusen Lichte der elektrischen Entladung durch verdünnte Gase hervorruft.

248) Solche Blitze, goldgelb im blauen Lichte des Zinnchloriddampfes, von anderer intensiver Färbung in anderen verdünnten Dämpfen und Gasen, im Dampfe des Broms, des Jods, der Schwefelsäure etc., die ich vor längerer Zeit schon beschrieben habe, gehören zu den schönsten Erscheinungen der elektrischen Entladung. Herr Geissler hat neuerdings den Röhren, die zu solchen Versuchen dienen, eine geeignete Form gegeben. An den beiden Enden einer 20—25^{mm} weiten, 200—250^{mm} langen Glasröhre sind zwei Capillarröhren eingeschmolzen,

die ihrerseits nach aussen hin eingeschmolzene Platindrähte enthalten und nach der anderen Seite hin so weit in die Röhre hineinragen, dass ihre offenen Enden in der Mitte der weiteren Röhre 40—50^{mm} von einander abstehen. Bei der Entladung des (kleinen) Ruhmkorff'-schen Apparates tritt der Inductionsstrom zuerst in eine der beiden Capillarröhren, aus dieser, sich weit ausbreitend, in die weite Röhre, um sich wiederum in der anderen Capillarröhre zu concentriren. In dem Falle des Zinnchloriddampfes ist das Licht in den Capillarröhren schön gelb, das diffuse Licht in der weiten Röhre blau. Indem der Magnet dieses blaue Licht bei äquatorialer Lage herabzieht oder nach oben abstösst, bei axialer Lage von den beiden Oeffnungen aus nach entgegengesetzter Seite horizontal fortdrängt, treten, von den Oeffnungen ausgehend, fortwährend goldgelbe Blitze auf, von denen das Auge gleichzeitig immer mehrere sieht.

In manchen Fällen erfolgen solche Blitze auch ohne magnetische Einwirkung.

249) Als der erste Eindruck dieser Erscheinungen noch ganz frisch in meiner Seele war, beobachtete ich nach 7 Uhr Abends am 28. September 1859 (in einer Periode ungewöhnlich starker elektrischer Störungen in der Atmosphäre) am offenen Fenster stehend, das nahe südöstlich gelegen ist, ein Gewitter mit ganz ungewöhnlichen Erscheinungen, die über eine halbe Stunde dauerten, während welcher es stark regnete. Es waren keine gewöhnlichen Blitze, sondern vielmehr gewaltige Strömungen diffusen Lichtes, annäherungsweise von Norden nach Süden, die nach kurzen Intervallen auf einander folgten. Theils waren es bloss solche Strömungen, theils traten in denselben Blitze von ungewöhnlichem Glanze auf, die einen Zickzackweg am dunklen Himmel von mehr als 60^{0} zurücklegten. Häufig erfolgten in derselben Lichtströmung zwei und drei Blitze. Die Farbe der Blitze bot nichts Besonderes dar; nur bei der stärksten Entladung, wo gleichzeitig drei gewaltige Blitze in der Lichtströmung sich bildeten — wovon die obigen Geissler'schen Röhren das genaue Miniaturbild geben — war derjenige der drei Blitze, der seinen Weg im grössten Zenithabstande nahm, *schön grün* gefärbt.*)

*) Während desselben Gewitters zeigte sich, als ich mit Musse meine gespannte Aufmerksamkeit auf diese Phänomene richtete, in der Nähe des Horizontes ein merkwürdiger Blitz anderer Art. Es schienen zwei Blitze von entgegengesetzter Seite kommend auf derselben Horizontallinie sich zu begegnen und dann in dem Punkte des Zusammentreffens ihre Richtung plötzlich zu ändern und, unter rechtem Winkel umbiegend, entgegengesetzt, nach oben und unten, sich fortzubewegen, bis sie allmählig erloschen. Aber der Blitz war kein gewöhn-

Zweite Note.

Bemerkungen über Gasspectra.

250) Es scheint, dass den vor längerer Zeit von mir gemachten Spectral-Beobachtungen verschiedener Gase und Dämpfe nicht allgemein die Bedeutung chemischer Analysen beigelegt wird. Elektrisches Licht an und für sich, ohne Träger, ist eine Fiction, die nicht existirt. Es ist kein Unterschied, ob eine Substanz durch directe Wärme verflüchtigt und zum Glühen gebracht wird, oder ob sie durch elektrische Ströme erwärmt glüht; ob man zum Beispiel Natrium in eine Flamme bringt oder Natriumdampf in einer Spectralröhre, wie ich es in meinen Untersuchungen gethan, durch den hindurchgehenden Inductionsstrom glühend macht. Dieses Glühen tritt um so leichter ein — ich sehe hier von der *äussersten* Verdünnung ab — je verdünnter das Gas oder der Dampf ist. Aber auch Gas *von der gewöhnlichen Dichtigkeit* giebt in dem capillaren Theile einer meiner Spectralröhren *dasselbe charakteristische Spectrum*, wenn wir einen hinlänglich starken, gewöhnlichen Inductionsstrom hindurchschlagen lassen. Nur wird in diesem Falle die Capillarröhre so stark erwärmt, dass sie dem Zerspringen ausgesetzt ist. Zur Ausführung chemischer Analysen wäre wohl ein etwas stärkerer Inductionsfunken bei einer mässigen Verdünnung am geeignetsten. Wenn die Dichtigkeit des Gases zu gross ist, sieht man unter Anwendung einer Lupe, dass der innere Raum der obgleich engen Röhre nicht mehr mit Licht ganz ausgefüllt ist, und der Weg der Entladung in derselben nicht mehr ein constanter ist.

251) Durch meine Spectralröhren erhalten wir das reine *Gasspectrum*. Es folgt dies unmittelbar aus der Thatsache, dass keine der Lichtlinien, aus welchen das Spectrum eines reinen Gases besteht, sich in dem Spectrum eines anderen reinen Gases wiederfindet, wonach jedes Gas durch eine der Lichtlinien seines Spectrums vollkommen charakterisirt ist. Nach Fortnahme des Gases und seines Spectrums bleibt also nichts übrig, was auf ein hypothetisches elektrisches Licht oder auf Ueberführung einer von den Elektroden losgerissenen leuchtend gewordenen Substanz kommen könnte. Bei Elektroden von ver-

---

licher, continuirlich fortschreitender, sondern seinen Weg, den er, wie ich glaube, langsamer zurücklegte, bezeichneten durch dunkle Stellen unterbrochene Lichtansammlungen. Von Herrn Letsom, jetzigem Königl. grossbritannischem Geschäftsführer und Generalconsul in Monte Video, wurde ich belehrt, dass solche discontinuirliche Blitze in Amerika oft vorkommen und dort „Kettenblitze" genannt werden.

schiedenen Metallen ist das Spectrum des Lichtfadens in der Capillarröhre dasselbe, wenn auch das die Elektroden umgebende Licht durch die Metalle Veränderungen erfahren mag. Mehr noch, wir können ganz dieselben Spectra auch ohne alle Elektroden erhalten, ohne dass das Gas, dessen Spectrum wir nehmen, irgend wie mit Metallen in Berührung kommt.

252) Zu diesem Ende liess ich vor längerer Zeit schon Röhren aus drei Stücken so zusammensetzen, dass das mittlere Stück, eine Capillarröhre von einigen Centimetern Länge, die beiden äusseren Stücke verband, die etwa 2^{cm} weit und 10^{cm} lang, an ihren äusseren Enden zugeblasen und ringsherum mit Stanniol belegt waren. Die beiden Zuleitungsdrähte des (kleinen) Ruhmkorff'schen Apparates wurden mit den beiden Stanniolbelegen verbunden. Das wie gewöhnlich verdünnte Gas wird durch die Inductionsströme, die, wie bekannt, im Innern des Apparates durch den ursprünglichen Inductionsstrom hervorgerufen werden, innerhalb der Capillarröhre hell leuchtend. Das Spectrum, durch das Babinet'sche Goniometer angesehen, war dem auf dem früheren Wege erhaltenen ganz gleich. Nur ist das Licht in diesem Falle weniger ruhig.

253) Unter anderen Verhältnissen treten aber *ganz andere Spectra* auf. Die Spectra des Herrn Masson sind gemischte: Gas und Metall treten gleichzeitig als Träger der elektrischen Entladung auf. In den prächtigen Spectra des Davy'schen Bogens ist das jedesmalige Metall der Elektroden durch blendend helle Streifen charakterisirt. Wir erhalten dasselbe unter später zu erörternden Umständen durch den Inductionsapparat zwar abgeschwächt, aber leichter zu bestimmen. In den Spectra des Herrn Ångström treten von den die verschiedenen Metalle charakterisirenden hellen Streifen nur Anfang und Ende als farbig leuchtende Punkte oder kurze Linien auf den beiden Elektroden auf, sei es, dass das verflüchtigte Metall nicht vollständig übergeführt, oder dass es bei dieser Ueberführung nur in der Nähe der Elektroden hinlänglich erhitzt wird.

254) Nicht nur einfache, sondern auch *zusammengesetzte Gase* (Kohlenoxydgas, Kohlenwasserstoff, Schwefelsäure u. s. w.) haben ihre eigenthümlichen Spectra, die zu den Spectra ihrer einfachen Bestandtheile in keiner nachweisbaren Beziehung stehen. Aber die durchströmende Entladung bringt chemische Verbindungen hervor und zersetzt Gase und Dämpfe, und, wie es scheint, treten diese chemischen Actionen leichter in verdünntem Zustande der Gase hervor, wobei diese ihrer ganzen Masse nach von der Entladung durchströmt werden und erglühen. Wir erhalten also in den Gasspectra nicht nur Analysen,

sondern wir können auch chemische Wirkungen mit dem Auge verfolgen und mannigfaltige Fragen beantworten, z. B. über Stabilität chemischer Verbindungen, die gasförmig sind, oder, sei es mit, sei es ohne Anwendung von Wärme, in Dampf, wenn auch nur von geringer Spannkraft, übergehen.

Ich führe hier beispielsweise den Fall des Selenwasserstoffgases und des Schwefelsäuredampfes an, die beide in möglichst verdünntem Zustande in gewöhnlichen Spectralröhren sich befanden.

255) Wenn wir das Selenwasserstoff-Spectrum von dem Momente an, wo der Strom hindurchgeht, beobachten, so erscheint das Licht in der Capillarröhre anfänglich strohgelb, nach zwei bis drei Secunden färbt sich dasselbe an dem einen Ende der Röhre schön roth, und dann verbreitet sich von da die rothe Färbung allmählig über die ganze Capillarröhre, die hernach in ihrer ganzen Ausdehnung so lange schön roth bleibt, als der Strom hindurchgeht. Wenn der Strom unterbrochen wird und ein paar Minuten unterbrochen bleibt, so hat sich beim Wiederhindurchgehen desselben die ursprüngliche gelbe Farbe vollständig wiederhergestellt. Diese gelbe Farbe geht dann wie früher in die rothe wieder über, und wir können denselben Versuch oft nach einander wiederholen. Bei Anwendung des Babinet'schen Goniometers mit dem Prisma sieht man — als ob man *dissolving views* vor sich hätte — das Spectrum des gelben Lichtes des Selenwasserstoffgases in das Spectrum des rothen Lichtes, welches das reine Spectrum des Wasserstoffgases mit seinen drei hellen Streifen auf dunklem Hintergrunde ist, übergehen. Der Uebergang erfolgt so rasch, dass es schwer ist, die Lage der hellen Linien, aus welchen das erste Spectrum besteht, zu bestimmen. Der rothe Wasserstoffgasstreifen H_α trat auch hier in grosser Helligkeit auf, die beiden anderen Streifen waren nicht zu erkennen. Nach dem Gelben hin wechselten rothe und schwarze Streifen mit einander ab. Diese wurden aber an Glanz von vier blauen Streifen bedeutend übertroffen, die sich zu zwei Paaren zusammenordneten. Diese Streifen hatten einfache Spaltbreite (3′), das Licht jedes derselben war hiernach absolut homogen. Die beiden Streifen jedes Paares waren durch einen schwarzen Zwischenraum, etwas breiter als die hellen Streifen, getrennt, die beiden Paare von einander durch einen ebenfalls schwarzen Zwischenraum, 18′ breit.*)

*) Unmittelbar gemessen wurde die Ablenkung der Mitten der drei Wasserstoffgasstreifen, die sich genau wie früher ergab, so wie der äusseren Grenzen der beiden Doppelstreifen, die wir durch SeH^2_α, SeH^2_β bezeichnen wollen, wobei

$$SeH^2_\alpha \begin{cases} \varphi = 60^0\ 43{,}5' \\ \varphi = 60^0\ 53{,}5' \end{cases}$$

Aus dem Vorstehenden folgt, dass Selenwasserstoffgas sich durch den elektrischen Strom allmählig zersetzt. Nach Ausscheidung des Selens bleibt das reine Wasserstoffgas in der Röhre. Nach Unterbrechung des Stromes verbindet sich das Wasserstoffgas mit Selen langsam wieder zu Selenwasserstoffgas.

Der *anhydre Schwefelsäuredampf* scheint der elektrischen Entladung einen grösseren Widerstand entgegenzusetzen. Während der kleine Ruhmkorff'sche Apparat zur Darstellnng der Gasspectra im Allgemeinen am geeignetsten ist, zeigte er sich hier zu schwach. Unter Anwendung eines stärkeren Inductionsapparates aber giebt der möglichst verdünnte Dampf der anhydren Schwefelsäure SO^3 in den gewöhnlichen Spectralröhren eines der schönsten und farbenreichsten, aus hellen Lichtstreifen auf meist schwarzem Grunde bestehenden Spectra.

Dieses Spectrum verhielt sich anfänglich fast unverändert, so dass die Lage der einzelnen Streifen mit Musse bestimmt werden konnte. Dies geschah, ausser für einige lichtschwächere Streifen, für drei rothe α, β, γ, für einen orange Streifen δ, einen gelben Streifen ε, vier grüne Streifen ζ, η, ϑ, ι und neun blaue und violette $\varkappa$, λ, μ, ν, ξ, o, π, ϱ, σ. Von diesen Streifen war ι durch zwei schwarze Linien in drei einfache Streifen getheilt, ε, ζ, η waren doppelt, mit einer feinen schwarzen Linie in der Mitte, β hatte beinahe doppelte Breite, breiter war der Streifen σ an der violetten Grenze. Alle übrigen hatten einfache Spaltbreite (3'). Nach längerer Zeit, während welcher der Strom hindurchging, erblasste indess allmählig das ursprüngliche Spectrum, und ein neues Spectrum trat auf. Dasselbe bestand aus einem breiteren orange Streifen α und sechs einfachen Streifen, von welchen die beiden ersten β, γ grün waren, und die übrigen vier δ, ε, ζ, η dem brechbareren Theile des Spectrums angehörten. Ein schwacher rother Streifen, welcher mit dem früheren Streifen SO^3_γ genau zusammenfiel, ist offenbar einem Residuum der ursprünglichen Schwefelsäure zuzuschreiben und gehört demnach dem neuen Spectrum nicht an. Andererseits fand sich in dem ursprünglichen Spectrum, wie es vorher bestimmt worden,

---

$$SeH^{\gamma}_{\beta}\begin{cases}\varphi = 61^\circ\ 3' \\ \varphi = 61^\circ\ 11'\end{cases}$$

sich ergab. Daraus folgt unter Beibehaltung der Bezeichnung meiner früheren Abhandlung für die Mitten der vier einzelnen Streifen

φ	μ	λ
60° 45′	1,73974	458,95
60° 52′	1,74075	455,6
61° 3′	1,74233	450,6
61° 9,5′	1,74326	447,5.

Siehe Annalen CVII, S. 497. [Werke II, Abhandl. 36.]

erstens ein blasser Streifen dicht neben dem Doppelstreifen SO^3_ε nach der violetten Seite hin, welcher genau die Lage des hellen Streifens β des zweiten Spectrums hatte, und zweitens ein schwacher Streifen, der, theilweise den Streifen SO^3_γ überlagernd, noch 2′ weiter reichte und genau mit dem hellen Streifen γ des zweiten Spectrums übereinstimmte. Diese Streifen gehören offenbar beide nicht der anhydren Schwefelsäure an, sondern dem Gase, das an ihre Stelle getreten ist. Bei einer Wiederholung der eben beschriebenen Beobachtung trat anfänglich der Streifen SO^3_γ auch nach der violetten Seite hin schwarz begrenzt auf, erst allmählig legte sich ein 2′ breiter Streifen an denselben an, der mit der Zeit heller wurde, während der ursprüngliche Streifen an Helligkeit abnahm, bis er zuletzt ganz verschwand, und der Streifen γ des zweiten Spectrums unter normaler einfacher Breite allein übrig blieb. Von den übrigen Streifen der beiden Spectra stimmten keine überein. δ des zweiten Spectrums stand dem Rothen um 2′ näher als SO^3_λ, was ich für einen Fehler des Ablesens nicht halten kann.

Das ursprüngliche Spectrum und, hiermit parallel gehend, die durch den Strom zersetzte Schwefelsäure, stellte sich auch hier nach längerer Unterbrechung des Stromes wieder her. Diese Wiederherstellung wurde durch Commutation des Stromes beschleunigt.

Welchem Gase gehört das zweite Spectrum an? Wohl gewiss schwefliger Säure, die aus der Zersetzung der Schwefelsäure offenbar dadurch entstanden ist, dass Sauerstoffgas zur Elektrode gegangen ist. Die Vergleichung einer älteren Notiz über die bei schwächerer Kraft unvollständig gelungene directe Darstellung des Spectrums der schwefligen Säure ist dieser Annahme günstig, aber nur eine Wiederholung mit dem grossen Inductionsapparate würde etwaige Zweifel auch dann beseitigen, wenn unter gewöhnlichen Verhältnissen die Zersetzung der anhydren Schwefelsäure und ihre Wiederherstellung vom chemischen Standpunkte aus beanstandet werden möchte.

Die Art neuer Analyse, wie sie in dem Vorstehenden an zwei Beispielen dargelegt ist, scheint mir eine weitere Bedeutung, namentlich auch für die organische Chemie, zu haben.

39.

Ueber recurrente Ströme und ihre Anwendung zur Darstellung von Gasspectra.

(Annalen der Physik und Chemie, Bd. 116, S. 27—54, 1862.)

256) Ich habe bereits in einer Abhandlung vom 30. März 1858 Nr. 60 [Werke II, S. 500] auf Ströme aufmerksam gemacht, die auf ihren eigenen Weg zurückkehren. In dem beschriebenen Falle war mit einer weiteren evacuirten Röhre, in welche an ihren beiden Enden Elektroden hineinragten, seitwärts eine enge Röhre angeschmolzen, die an einem ihrer Enden mit der weiteren Röhre in Verbindung, an dem anderen Ende zugeschmolzen war. Wenn die beiden Elektroden mit den Drahtenden der (kleinen) Ruhmkorff'schen Inductionsrolle verbunden wurden, ging der Strom nicht sogleich vollständig von Elektrode zu Elektrode, sondern ein Theil desselben zweigte sich ab, trat in die enge Röhre, ging bis zum geschlossenen Ende derselben, kehrte wieder zur weiteren Röhre zurück, um den übrigen Weg zur zweiten Elektrode zurückzulegen. Das verdünnte Gas im Innern der engen Röhre ist Träger des Stromes; es wird an jeder Stelle an zwei auf einander folgenden Momenten, die für die Beobachtung zusammenfallen, nach entgegengesetzter Richtung durchströmt. Der Zeitraum zwischen den beiden Momenten ist die unmessbar kleine Zeit, die der Strom braucht, um den Weg von der fraglichen Stelle der Röhre bis zum geschlossenen Ende derselben und von da wieder zurück zu durchlaufen, und verschwindet ganz nach dem Ende der Röhre hin. Der Strom verbreitet sich, wenn er auf seinem Wege umzukehren gezwungen ist und von Neuem dieselben Gastheilchen ergreift, die er eben ergriffen hatte, ebenso ungestört, als wenn er immer neue Theilchen als Träger findet. Was von allen auf einander folgenden Inductionsströmen gilt, gilt auch von jeder einzelnen Entladung.

257) Recurrente Ströme geben, wie gewöhnliche Entladungen, ihre Existenz durch Wärmeerregung kund, die sich in unserem Falle, wo

verdünntes Gas Träger ist, bis zu einer Lichterscheinung steigert. Solche Lichterscheinungen zeigen in vielen Fällen sogleich an, dass der bezügliche Strom ein recurrenter ist. Es ist selbstredend, dass recurrente Ströme auf die Galvanometernadel nicht einwirken können. Andererseits aber, wenn der Strom sich innerhalb des Leiters lateral bewegen kann, bewirkt der Magnet durch die entgegengesetzte Ablenkung der entgegengesetzten Strömungen, wie ich es gleich anfangs nachgewiesen habe, die Theilung des Stromes und macht so in demselben, wenn dieser Strom leuchtend ist, die voranschreitende und die zurückkehrende Strömung neben einander sichtbar. Diese Beobachtungsweise ist von grosser Präcision und findet eine allgemeine Anwendbarkeit. In weiteren Röhren bietet sie die effectvollsten Erscheinungen, behält aber auch ihre volle Bedeutung für den Fall, dass der Strom *durch die feinste Capillarröhre* geht. Als ich eine solche Capillarröhre, durch welche ein recurrenter Strom ging — ich führe diesen Versuch hier an, um die letzte Behauptung zu begründen — in äquatorialer Richtung auf die einander genäherten Halbanker des grossen Elektromagneten auflegte, *trennte sich die Lichtlinie in ihrem Innern in zwei fast mathematische Lichtlinien, die über einander lagen und durch eine schwarze Linie getrennt waren.* Einmal, in dem Falle, dass verdünnte Kohlensäure Träger des Stromes in der Capillarröhre war, waren die Lichtlinien blendend weiss, das andere Mal, in dem Falle von Wasserstoffgas, blendend roth; die Erscheinung entging dem *unbewaffneten* Auge, es musste eine Lupe zur Hülfe genommen werden, um von der Seite her die beiden Lichtlinien zu unterscheiden.

258) Wenn der elektrische Strom in einer Geissler'schen Röhre aus einem weiteren Raume in eine Verengung derselben tritt, kehrt, wie der Magnet beweist, der Strom *theilweise* auf seinen eigenen Weg zurück.*) Ich fasste diese Erscheinung unter dem Gesichtspunkte auf, dass die theilweise Rückkehr des Stromes durch den *vergrösserten Widerstand* hervorgerufen werde, welchen derselbe beim Eintritte in die Verengung der Röhre findet.

259) Im Herbste des Jahres 1858 wurde ich zu recurrenten Strömen durch Herrn Gassiot zurückgeführt, der evacuirte Röhren nach ihren beiden Enden hin auswärts mit Stanniol belegte und dann ohne weitere Elektroden die Stanniolbelege mit den beiden Enden der Inductionsrolle in Berührung brachte. Dann fand im Innern der Röhre eine Entladung statt, von der schon Herr Gassiot bemerkt, dass sie (*induced discharge*) von der gewöhnlichen (*direct discharge*) vermittelst des

*) Siehe die angeführte Abhandlung [36] Nr. 61.

Magneten sich unterscheiden lasse.*) Ich ging auf eine genauere Prüfung dieser recurrenten Ströme in luftverdünnten Räumen ein. Die allgemeineren Resultate, zu denen ich gelangte, habe ich im ersten Theile meiner Abhandlung vom 24. October 1858 mitgetheilt.**)

260) Schon vor den Versuchen des Herrn Gassiot und den meinigen waren von Herrn Vic. du Moncel durch den Ruhmkorff'schen Apparat recurrente Ströme erhalten, aber nicht als solche bezeichnet worden.***) Zwei parallele Glasplatten, die einen Zwischenraum von mehreren Centimetern haben, sind auf ihren äusseren Seiten mit Metallplatten belegt. Wenn diese mit den Drahtenden der Inductionsrolle verbunden werden, so schlagen in der Luft gerade, violette Blitze, deren das Auge gleichzeitig mehrere wahrnimmt, von Punkten der einen Glastafel zu Punkten der anderen über. Wenn es mir auch nicht gelungen ist, durch den grossen Elektromagneten die einzelnen Blitze zu spalten, so findet das seine vollständige Erklärung in der Analogie, dass überhaupt blitzartige Entladungen in Luft von gewöhnlicher Dichtigkeit keine Ablenkung durch den Magneten erfahren. Erst mit der Verdünnung der Luft tritt hier die Ablenkung, bei recurrenten Strömen Ablenkung und Spaltung ein. Bei Anwendung des grossen Ruhmkorff'schen Apparates haben die zwischen den beiden Glasplatten hin und her schlagenden Blitze eine grosse Intensität. Sie geben zugleich von der gewaltigen Molecularthätigkeit in der als schlechter Leiter sich verhaltenden Luft Zeugniss, die sich auch in so überraschender Weise kund giebt, wenn in der Weise, wie Herr Ruhmkorff es lehrt, statt der isolirenden Luftschicht eine 4 bis 5^{cm} dicke Glastafel durchschlagen wird: eine Wirkung, die sich nicht durch Kräfte, die ihren Sitz ausserhalb des Glases auf entgegengesetzter Seite desselben haben, allein erklären lässt, ohne energisch mitwirkende Molecularthätigkeit in dem Glase selbst. Auch seitwärts von dem Wege, auf welchem das Glas durch den Blitz zermalmt wird, erstreckt sich diese Wirkung. Um die Durchbohrung zeigen sich, worauf Herr Morren mich aufmerksam machte, im polarisirten Lichte die Farbenringe des rasch abgekühlten Glases.

261) Wenn wir die beiden Glasplatten in dem du Moncel'schen Versuche auch auf den einander zugekehrten Flächen mit Metallplatten belegen, so ändert sich in der Entladung zwischen beiden wesentlich nichts. Dann aber haben wir zwei Franklin'sche Tafeln, die durch

*) *Proceedings of the Royal Society. March* 1858.

**) Diese Annalen Bd. 107, S. 77. [Abh. 35.] Ich sah zurückkehrende elektrische Entladungen bei den Beobachtungen Nr. 118 bis 133.

***) *Notice sur l'appareil d'induction,* 1855, p. 46.

den Ruhmkorff'schen Apparat fortwährend geladen und wieder entladen werden. Wenn dem äusseren Belege der ersten Tafel positive, dem äusseren der zweiten negative Elektricität zugeführt wird, findet in Folge statischer Induction ein Uebergang positiver Elektricität von der inneren Seite der ersten Tafel zur inneren Seite der zweiten statt, so dass jene innere Seite sich negativ, diese sich positiv ladet. Bei der Entladung der beiden äusseren Belege findet gleichzeitig auch die Ausgleichung der Elektricitäten auf den inneren Belegen statt, indem dieselben den früher beschriebenen Weg in entgegengesetzter Richtung zurücklegen.

262) Um uns eine Vorstellung von der Entstehung des Inductionsstromes zu machen, denken wir uns, dass die Magnetisirung und Entmagnetisirung des Bündels von Eisenstäben im Innern der Drahtrolle, als elektromotorische Kraft wirkend, in jedem Längenelemente des Drahtes die beiden Elektricitäten trennt und nach entgegengesetzter Richtung forttreibt. Wenn die Drahtenden der Rolle metallisch verbunden sind, so steht bei jeder Schliessung und Oeffnung der Kette der Bildung eines gewöhnlichen Stromes nichts entgegen. Diesen Strom (wir nehmen fortan immer nur den Oeffnungsstrom) können wir auch unter dem Bilde eines Doppelstromes, eines positiven und negativen, die entgegengesetzte Richtung haben, auffassen.

Wenn aber die Drahtenden isolirt sind, müssen wir statt eines gewöhnlichen Stromes einen recurrenten annehmen, den wir uns bestehend denken können aus einem positiven, der an dem einen Drahtende, und einem negativen, der an dem andern Drahtende umkehrt, wobei nach dieser Umkehrung Alles wieder ins elektrische Gleichgewicht zurückkehrt.[1]) Liegt nicht in eben dieser Umkehrung der Grund für die specifische Wirkung solcher Inductionsströme (261) und für das Auftreten starker elektrischer Spannung an den Drahtenden?

Solche zurückkehrende Ströme können nach Umständen dem Apparate selbst gefährlich werden.

263) Bei einer unvollständig leitenden Verbindung zwischen den beiden Drahtenden der Inductionsrolle kehrt der Strom theilweise um. Wenn Luft oder ein anderes Gas die Unterbrechung zwischen den Drahtenden bildet, und das Gas allmählig immer mehr verdünnt wird, so können wir den stetigen Uebergang von einer vollständigen Isolirung bis zu einer fast metallischen Leitung verfolgen, bis zuletzt der Strom, aus Mangel eines Trägers, erlischt, oder wenigstens an der Grenze der Verdünnung, zu der wir überhaupt gelangen können, zu erlöschen anfängt.

264) Wenn wir eines der beiden Drahtenden der Inductionsrolle in das eine Ende einer stark evacuirten Röhre leiten, deren anderes Ende zugeschmolzen ist, so tritt der in dem Drahte inducirte Strom nur theilweise aus diesem in den gasförmigen schlechteren Leiter und stellt sich hier unmittelbar schon durch das Leuchtendwerden des Gases als einen solchen Strom dar, der, am zugeschmolzenen Ende der Glasröhre angelangt, zum Drahtende wieder zurückkehrt. Hier wird also sichtbar, was im Drahte selbst nicht zur directen Anschauung gebracht werden kann.

265) Viel intensiver werden die fraglichen recurrenten Ströme und die sie begleitenden und charakterisirenden Lichterscheinungen, wenn eine evacuirte Glasröhre, die in ihrer Mitte eine dünne isolirende Scheidewand und an ihren beiden Enden eingeschmolzene Elektroden hat, hergestellt wird, und wir gleichzeitig die beiden Drahtenden der Inductionsrolle mit den beiden Elektroden in Verbindung setzen.

Die unter der Leitung des Herrn Geissler angefertigte Röhre, 38^{cm} lang, 18^{mm} dick, war durch eine dünne, nahezu ebene Glaswand in zwei Hälften getheilt, die gleichzeitig und demzufolge auch bis zu derselben Grenze evacuirt wurden. Zu diesem Zwecke war eine engere Verbindungsröhre mit ihren beiden Enden in der Nähe der beiden Elektroden der Hauptröhre in diese eingeschmolzen, welche nach der Evacuirung wieder abgeblasen wurde. Durch dieses Verfahren wurde zugleich das etwaige Zerspringen der dünnen Scheidewand durch einseitige Fortnahme des Luftdrucks vermieden. Vor dem Abblasen der Communicationsröhre vertheilte sich das Licht auf den directen Strom, der durch diese Röhre ging, und auf die recurrenten Ströme in den beiden Hälften der Hauptröhre.

266) Die Lichterscheinungen sind in den beiden Hälften der Röhre, bei gleicher Intensität, ganz dieselben, so dass das Auge auch nach einer Umkehrung der Stromrichtung keinen Unterschied wahrnimmt. Jede Elektrode bietet gleichzeitig die Erscheinungen des austretenden und eintretenden Stromes, insbesondere auch die negative Lichthülle, die nach dem Grade der Verdünnung und nach der Art des Gases sich mehr oder weniger ausbreitet.

267) Als die Röhre in *äquatorialer Lage* auf die genäherten Halbanker des grossen, durch sechs Elemente erregten Elektromagneten gelegt wurde, trennte sich der Strom in jeder Hälfte der Röhre in zwei Theile. In der 17. Figur Taf. V ist die Röhre von der Seite her angesehen, der Südpol ist vorne, der Nordpol hinten vorausgesetzt. Es sei die Elektrode A mit dem positiven, die Elektrode B mit dem negativen Drahtende der Inductionsrolle verbunden. Dann senkt sich

in der ersten Hälfte der Röhre der positive Strom, der als Fortsetzung des positiven Stromes in der Drahtrolle anzusehen ist, von der Elektrode nach unten, macht den Weg $a\,b$ zur Scheidewand, verbreitet sich über diese nach oben, von wo er auf dem Wege $c\,d$ zur Elektrode A zurückkehrt. Wie überhaupt, so unterscheidet sich auch hier in charakteristischer Weise der Austritt des Stromes von seinem Wiedereintritte in die Elektrode. In der zweiten Hälfte der Röhre senkt sich der negative Strom, der als Fortsetzung des negativen Stromes im Inductionsdrahte anzusehen ist, von der Elektrode B nach unten, macht den Weg $a'\,b'$ nach der Scheidewand, an der er aufsteigt, und kehrt im oberen Theile der Röhre auf dem Wege $c'\,d'$ zur Elektrode zurück. Hier unterscheidet sich wiederum der Austritt des Stromes von seinem Wiedereintritte in der Art, dass die Erscheinung beim Austritte eines negativen Stromes der Erscheinung beim Eintritte des positiven Stromes gleichkommt und umgekehrt. Denkt man sich die Scheidewand hinweg, so würde man die Anschauung zweier positiver Ströme gewinnen, von welchen der eine auf dem Wege $a\,b\,b'\,a'$ von der Elektrode A zur Elektrode B geht, und der andere auf dem Wege $d'\,c'\,c\,d$ von dieser Elektrode zu jener.

Nach einer Commutation der Stromrichtung bleibt die Erscheinung ganz unverändert. Es geht alsdann von der Elektrode A statt eines positiven recurrenten Stromes ein negativer recurrenter Strom aus; während aber jener den Weg $abcd$ nahm, nimmt dieser den umgekehrten Weg $dcba$. Die beiden Ströme haben dabei dasselbe Aussehen und erleiden dieselbe Ablenkung durch den Magneten. Ebenso tritt nach der Commutation an die Stelle des von B ausgehenden negativen Stromes $a'\,b'\,c'\,d'$ der positive $d'\,c'\,b'\,a'$ von entgegengesetzter Richtung und daher von gleicher Ablenkung durch den Magneten.

Nach einer Commutation der magnetischen Polarität vertauscht sich in der Erscheinung oben und unten. Der obere Theil jedes der beiden recurrenten Ströme $abcd$ und $d'c'b'a'$ ist an die Stelle des unteren Theiles desselben Stromes getreten, so wie umgekehrt, und das Auge nimmt diese Lagenänderung wahr, weil es bei beiden Strömen Austritt aus der Elektrode und Wiedereintritt in dieselbe unterscheidet.

268) Bemerkt zu werden verdient, dass in jeder der beiden Hälften der Röhre der recurrente Strom eine dunkle Stelle hat, die, nachdem derselbe über die Scheidewand hin auf die entgegengesetzte Seite der Röhre getreten ist (ich nehme hierbei dem gewöhnlichen Sprachgebrauche gemäss immer den positiven Strom), nahe der Scheidewand liegt. Von den beiden dunklen Stellen c und b' liegt also die eine in dem oberen, die andere in dem unteren Theile der Röhre. Nach einer

Commutation der magnetischen Polarität vertauschen dieselben ihre Lage in Beziehung auf oben und unten, bei einer Aenderung der Stromrichtung bleibt ihre Lage unverändert.

Diese dunklen Stellen sind hier ebenso charakteristisch für die Richtung des recurrenten Stromes, als der Austritt desselben aus der Elektrode und der Wiedereintritt in dieselbe.

269) In vollkommenem Einklange mit dem Vorstehenden sind die Erscheinungen, die hervortreten, wenn man die Röhre in axialer Richtung so auf die beiden genäherten Halbanker legt, dass die Mitte der Röhre über die Mitte zwischen diesen zu liegen kommt. Wenn die Elektrode A mit dem positiven, die Elektrode B mit dem negativen Drahtende der Inductionsrolle verbunden wird, und die magnetische Polarität die in Fig. 18, Taf. V, bezeichnete ist, nimmt der positive recurrente Strom in der einen Hälfte der Röhre den Weg $abcd$, der negative Strom in der andern Hälfte den Weg $a'b'c'd'$. Die dunklen Unterbrechungen der beiden Ströme liegen auf derselben Seite, in c und b'. Abgesehen von der Scheidewand, ist für das Auge die Erscheinung dieselbe, als wenn ein positiver Strom von der einen Elektrode zur anderen den Weg $abb'a'$ nähme und von dieser zu jener zurück den Weg $d'c'cd$.

Nach einer Commutation der Stromrichtung stellt sich ganz die ursprüngliche Erscheinung wieder her, indem $d'c'b'a'$ der recurrente positive und $dcba$ der recurrente negative Strom wird. Nach einer Commutation der magnetischen Polarität ändert sich die Erscheinung dadurch, dass die seitliche Ablenkung durch den Magneten die entgegengesetzte wird.

270) Wenn die Röhre ihrer Länge nach so verschoben wird, dass die Mitte der einen Hälfte über die Mitte zwischen den Halbankern zu liegen kommt, so tritt in der Mitte dieser Hälfte (während die Erscheinung in der anderen Hälfte dieselbe bleibt) der Strom von der einen Seite auf die andere Seite und bei seiner Rückkehr von dieser Seite wieder auf jene herüber, was die früher schon (120) bei der Gassiot'schen Inductionsröhre beschriebenen Erscheinungen giebt. Zugleich aber kommen die Erscheinungen an den hineinragenden Elektroden und das Auftreten der dunklen Unterbrechung, wodurch die Richtung des Stromes sichtbar gemacht wird, hinzu. Wenn A die positive Elektrode ist und dieselbe oberhalb des Nordpols liegt, so ist der Weg des positiven Stromes in der fraglichen Hälfte der Röhre $AabcdefghA$ (Fig. 19, Taf. V.).

271) Wenn wir in dem du Moncel'schen Versuche (260) die beiden äusseren Metallplatten nicht unmittelbar mit den beiden Draht-

enden der Ruhmkorff'schen Inductionsrolle berühren, sondern von diesen auf jene aus einiger Entfernung Funken überschlagen lassen, so sind auch diese Funken recurrente Entladungen. Eine ganz analoge Zusammenstellung erhalten wir, wenn wir statt der Röhre der letzten Nummern uns einer Röhre bedienen, welche statt der einzigen Scheidewand zwei Scheidewände hat, durch welche sie in drei von einander isolirte, evacuirte Räume getheilt wird. Der einzige Unterschied liegt darin, dass in der nicht leitenden Luft von gewöhnlicher Dichtigkeit die Entladung in Blitzen erfolgt, in den evacuirten Räumen aber in diffusen Strömungen, welche der Einwirkung des Magneten gehorchen.

272) Herr Geissler bewerkstelligt die Isolirung der verschiedenen evacuirten Räume von einander in der Fig. 20, Taf. V. angedeuteten Weise. Jeder der beiden äusseren Theile der Röhre besteht aus einer engeren Glasröhre, die an einem Ende eine ellipsoidische Erweiterung zur Aufnahme der Elektrode hat und an der anderen Seite in eine grössere Kugel von dünner Wandung ausläuft. Der mittlere Theil der Röhre besteht an jedem Ende aus einer Kugel, die der Kugel des entsprechenden äusseren Theiles concentrisch und an der engeren Röhre desselben angeschmolzen ist; er hat in seiner Mitte einen grösseren ellipsoïdischen Raum, der mit den beiden Kugeln am Ende durch zwei engere Kanäle communicirt.

Auf diesem Wege erhält Herr Geissler, der mit gleichem Erfolge statt eines isolirten mittleren Raumes deren *mehrere* einschaltet und dabei die Formen mannigfach variirt und für die verschiedenen von einander getrennten Räume als Träger des elektrischen Stromes verschiedene verdünnte Gase wählt, *Inductionsröhren*, die an Effect den schönsten der früheren Geissler'schen Röhren, durch welche die Entladung direct hindurchgeht, gleichkommen. Die Lichtintensität in den neuen Röhren ist kaum schwächer als in diesen, wobei allerdings in Betracht kommt, dass ein elektrischer Strom, wenn er auf seinen Weg zurückkehrt, in Beziehung auf Licht- und Wärmeerregung dieselbe Wirkung hat als ein einfacher Strom von doppelter Intensität. In dieser Beziehung scheint aber auch die Geissler'sche Construction darin einen namhaften Vorzug zu haben, dass die verschiedenen Räume durch dünne isolirte Glasschichten *von grosser Oberfläche* von einander getrennt sind, was in viel geringerem Maasse bei einer cylindrischen Röhre mit ebenen Scheidewänden der Fall ist.

273) Als eine in der vorigen Nummer beschriebene Geissler'sche Inductionsröhre in äquatorialer Richtung mit einem Paare ihrer concentrischen Glaskugeln auf den grossen Elektromagneten gelegt wurde, zeigte sich, von dem Südpole her angesehen, die in der Figur 20 ange-

deutete Erscheinung. Die Ablenkung durch den Magneten lehrt — wir beschränken uns auf das Aeussere der Erscheinung —, dass ein positiver Strom (abc), der abgestossen wird, von der Elektrode her aus dem oberen Theile der engeren Röhre in die innere Kugel tritt, wo er aufsteigt und nach zurückgelegtem *längeren* Wege in eine helle Spitze ausläuft; dass ein zweiter positiver Strom von ganz gleichem Aussehen (def), der angezogen wird, von dem Ellipsoïd der Mitte her durch den engeren Kanal in den concentrischen Raum zwischen den beiden Kugeln tritt und hier an der tiefsten Stelle der äusseren Kugel sich herabzieht; dass ferner zwei negative Ströme ($a'b'c'$ und $d'e'f'$) unter sich gleiches Aussehen haben und nach zurückgelegtem *kürzeren* Wege beide in eine Spitze auslaufen, von welchen der eine, vom Magneten angezogen, in der inneren Kugel sich senkt, und der andere, abgestossen, in dem concentrischen Raum zwischen den beiden Kugeln ansteigt. Es kommt dieses in der Annahme von bloss positiven Strömungen darauf hinaus, dass ein Strom von der Elektrode her den Weg $abcf'e'd'$ zum mittleren Ellipsoïde nimmt und von diesem auf dem Wege $defc'b'a'$ zu der Elektrode wieder zurückkehrt, gerade so, als wenn die isolirende Kugelwandung nicht vorhanden wäre.

Eine Umkehrung der Stromrichtung ändert auch hier die Erscheinung nicht; bei einer Commutirung der magnetischen Polarität vertauscht in derselben sich gegenseitig oben und unten.

274) Wenn wir zu der einfacheren Anschauung einer cylindrischen Röhre $ABCD$, an deren Enden Elektroden angeschmolzen sind, und die durch zwei Glaswände B und C in drei von einander isolirte Räume getheilt wird, uns zurückwenden, so ergiebt sich nach dem Vorstehenden die folgende Analyse der ganzen Erscheinung.

Es trete der positive Strom der Inductionsrolle durch die Elektrode A in den Raum AB. Dann geht er fort bis zur ersten Scheidewand B und kehrt von da zur Elektrode zurück. In dem Momente, wo derselbe an der Scheidewand B umkehrt, bildet sich jenseits derselben in dem mittleren Raume BC durch Induction ein Strom, der die ursprüngliche Richtung hat, bis zur Scheidewand C fortschreitet und von da zur Scheidewand B zurückkehrt. In dem Momente, wo dieser Strom die Scheidewand C erreicht, wird jenseits derselben durch Induction ein neuer Strom hervorgerufen, der in der ursprünglichen Richtung im Raume CD seinen Weg bis zur Elektrode fortsetzt.

Es scheint natürlich, anzunehmen, dass in dem mittleren Raume BC alle elektrische Thätigkeit aufhört, sobald in demselben der inducirte Strom seinen Weg vollständig hin und her gemacht hat, und daher ist wohl nicht anzunehmen, dass er bei seiner Rückkehr in dem

Raume AB einen Strom inducire, der, wenn er existirte, den ersten zurückkehrenden Strom verstärken würde. Andererseits aber ist es unzweifelhaft, dass unserer obigen Behauptung gemäss der recurrente Strom im mittleren Raume, wenn er auf seinem Hinwege in C anlangt, jenseits der Scheidewand im Raume CD einen Strom inducirt. Dass dieser Strom dieselbe inducirende Kraft besitzt, als der recurrente Strom im Raume AB, folgt insbesondere auch daraus schon, dass, wenn statt eines durch Glaswände isolirten Raumes mehrere solcher Räume eingeschaltet sind, auch von einem dieser Räume auf den anderen in verdünnten Gasen die elektrischen Lichtströme sich übertragen (272).

Um die gleiche Erscheinung an den beiden Polen zu erklären, müssen wir neben den eben besprochenen Strömen, die ihren Ursprung an der positiven Elektrode haben, auch der negativen Elektrode eine stromerregende Kraft von gleicher Intensität beilegen und gleichzeitig *negative* Ströme annehmen, welche von ihr ausgehen.

275) Wir haben bisher, und mit Recht, so lange es sich nur um die Erscheinungen, wie sie das Auge sieht, handelt, einen positiven und einen negativen Strom von entgegengesetzter Richtung, auf welche beide der Magnet in gleicher Weise wirkt, als identisch betrachtet und demnach also auch den Austritt eines beliebigen der beiden Ströme aus der Elektrode und den Wiedereintritt des anderen in dieselbe. So können wir zum Beispiel in dem Falle der 17. Figur, Taf. V., den positiven Strom ab und den negativen $a'b'$, der ihm entgegenkommt, als einen einzigen positiven Strom $Ba'b'baA$ ansehen. Während demzufolge in den oben beschriebenen Erscheinungen kein Unterschied bei veränderter Stromrichtung wahrnehmbar ist (und auch nicht bei vertauschter magnetischer Polarität bemerkbar sein würde, wenn Anfang und Ende des Stromes sich nicht kenntlich machten), so ist doch in Wirklichkeit die Erscheinung eine wesentlich verschiedene, und das Auge nimmt diesen Unterschied nur deshalb nicht wahr, weil es das Fortschreiten selbst der elektrischen Stromthätigkeit, der grossen Geschwindigkeit wegen, mit welcher dasselbe erfolgt, *nicht* sieht und nicht zu erkennen im Stande ist, ob diese Thätigkeit von der einen oder der anderen Elektrode ausgeht.

276) Um uns überhaupt von einem elektrischen Elementarstrome ein Bild zu machen, scheint es mir auf dem jetzigen Standpunkte der Wissenschaft immer noch am rationellsten, die Grotthuss'sche Anschauungsweise, welche der Annahme einer fortschreitenden Longitudinalschwingung nahe kommt, zu adoptiren und durchzuführen. Nach derselben findet in einem positiven Strome successive in den auf einander folgenden Körpertheilchen Vertheilung der beiden Elektricitäten

und dann Wiedervereinigung der positiven Elektricität des vorhergehenden mit der negativen Elektricität des nachfolgenden Theilchens statt. Bei dem *elektrolytischen* Strome ist die Inductionswirkung in jedem Theilchen von einer chemischen Zersetzung desselben begleitet. Ein Wassertheilchen zum Beispiel zerfällt in Sauerstoff, den Träger der negativen, und in Wasserstoff, den Träger der positiven Elektricität. Mit der Wiederausgleichung der positiven Elektricität des vorhergehenden mit der negativen Elektricität des nachfolgenden Theilchens ist immer die chemische Wiedervereinigung der Träger dieser Elektricitäten, in unserem Beispiele des Wasserstoffs des ersten Theilchens mit dem Sauerstoff des zweiten zu einem neuen Wassertheilchen, verbunden.

Wenn der elektrische Strom *metallische* Leiter ergreift, findet die Wiederausgleichung der beiden Elektricitäten durch eine blosse Entladung, einen Blitz, zwischen je zwei auf einander folgenden Körpertheilchen statt. In *Isolatoren* findet, wenn sie der Strom ergreift, successive in den auf einander folgenden Körpertheilchen, wie in den früheren Fällen, elektrische Vertheilung statt. Die Wiederausgleichung der beiden Elektricitäten erfolgt aber immer nur in demselben Theilchen, in welchem die Vertheilung stattgefunden hat.

277) Wenn wir in Isolatoren eine freie Bewegung der Elektricität von Körpertheilchen zu Körpertheilchen auch nicht annehmen können, so ist doch an einer elektrischen Vertheilung in den einzelnen Theilchen nicht zu zweifeln. Dafür spricht schon, dass zum Beispiel trockener Quarzsand von einer geriebenen Siegellack- oder Glasstange angezogen wird; eine Anziehung, die durch die nicht leitende Beschaffenheit des Sandes einer magnetischen ähnlicher wird und die eine Abstossung nicht sogleich zur Folge hat. Wenn wir zu dieser Anschauung noch diejenige hinzufügen, dass die elektrische Vertheilung nicht absolut momentan ist, sondern wie es bei der elektrolytischen und metallischen Leitung der Fall ist, von einem Körpertheilchen zum anderen sich überträgt, so tritt uns auch bei Isolatoren das Bild eines Stromes entgegen, bei dem die beiden Elektricitäten sich nur in der Sphäre des Körpertheilchens bewegen, eines Stromes, der die Elektricitäten nicht fortführt, wohl aber Träger der fortschreitenden elektrischen Inductionswirkung ist.

278) Das Vorhandensein eines so aufgefassten Stromes in Isolatoren scheint mir ferner nachgewiesen in der Molecularthätigkeit, die wir im Glase annehmen müssen, wenn es durch den Inductionsfunken durchbohrt werden soll (260). Wenn die elektrische Vertheilung, namentlich indem sie sich rasch wiederholt, in dem isolirenden Glase zu stark wird, so stellt sich die Ausgleichung der beiden Elektricitäten

von Theilchen zu Theilchen wieder her, es erfolgt die Durchbohrung durch eine blitzartige Entladung. Diese Durchbohrung wird, abgesehen von secundären mechanischen Wirkungen, denjenigen Weg nehmen, wo die elektrische Induction die grösste ist.

279) Den directen Beweis für die fortschreitende Induction durch einen Nichtleiter liefern eben die neuen Geissler'schen *Inductionsröhren*, in welchen der gewöhnliche Inductionsstrom, nachdem er an die isolirende Glaswand — die, wenn auch an und für sich dünn, doch in Beziehung auf den Abstand der Körpertheilchen von einander unvergleichbar dick ist — angekommen ist, jenseits derselben so wenig geschwächt sich fortsetzt. Aus derselben allein lässt sich insbesondere erklären, dass in dem Falle, wo die in ihrer Mitte durch eine Glaszelle getheilte Röhre der 265. Nummer in den Kreis der Entladung des Ruhmkorff'schen Apparates eingeschaltet wird, die Stromthätigkeit so viel grösser ist, als wenn wir den Inductionsstrom in den Elektroden, wie in der 264. Nummer, einfach in zwei von einander getrennte Röhren auslaufen lassen.

280) Nach der vorstehenden Auffassung, die keinen Anspruch darauf macht, eine endgültige zu sein, finden wir keine Schwierigkeit, das Grotthuss'sche Schema auch auf das Umkehren des Stromes an der isolirenden Scheidewand, auf seinen Durchgang durch dieselbe in veränderter Form und seine Fortsetzung jenseits der Scheidewand auszudehnen. Die Rückkehr des Stromes fordert die Annahme, dass Körpertheilchen, die seiner Wirkung unterworfen sind, unmittelbar nachher wieder einer elektrischen Vertheilung fähig werden. Wenn wir ferner eine elektrische Entladung als eine Reihe von auf einander folgenden Elementarströmen ansehen müssen, so folgt, dass sie der Zeit nach so weit von einander getrennt sind, dass sie sich gegenseitig nicht stören. Die Aussicht, Interferenzerscheinungen elektrischer Ströme zu erhalten, ist nicht vorhanden.

281) Recurrente Ströme, wie sie in dem Drahte der Inductionsrolle auftreten, erhalten wir auch unter anderen Umständen in metallischen Leitern. Wenn wir zum Beispiel zwei gleiche weitere Röhren, an deren einem Ende ein Platindraht eingeschmolzen ist, in einer grösseren Entfernung von diesem Ende mit Stanniol belegen und dann die beiden eingeschmolzenen Platindrähte mit den Enden der Inductionsrolle verbinden, so verbreiten sich, wie bekannt (264), in beiden Röhren recurrente Ströme mit schwachem Lichte von der Elektrode bis zum Stanniolbeleg und kaum sichtbar über denselben hinaus. Wenn wir aber die beiden Stanniolbelege durch einen Kupferdraht mit einander verbinden, so tritt in beiden Röhren zwischen Elektrode und

Beleg der recurrente elektrische Lichtstrom in seiner gewöhnlichen Lichtstärke auf. Es ersetzt hierbei der metallische Leiter den evacuirten mittleren Raum der Geissler'schen Inductionsröhre (272), und die in diesem Raume nachgewiesenen recurrenten Ströme haben sich auf den Kupferdraht übertragen.

282) Wenn wir die beiden Stanniolbelege in zwei grössere Streifen auslaufen lassen und diese, statt sie in leitende metallische Verbindung zu bringen, durch einen dünnen Isolator trennen, so treten in beiden Stanniolbelegen recurrente Ströme auf, deren Existenz sich wie in der vorigen Nummer kund giebt. Es entspricht alsdann der Apparat einer Inductionsröhre mit vier getrennten evacuirten Gasräumen, von welchen die beiden mittleren durch Stanniolbelege ersetzt sind.

283) Auf diesem Wege kommen wir weiter zu der Combination, dass wir eine Reihe von Kupferplatten oder Kupferstäben durch dünne Glas- oder Glimmerplatten von einander isoliren, und erhalten alsdann in denselben, wenn wir die äussersten Glieder der Reihe mit den Drahtenden der Inductionsrolle verbinden, recurrente Ströme.

284) Wenn wir nachweisen könnten, dass der elektrische Strom auch im Innern eines metallischen Leiters unter der Einwirkung des Magneten eine Ablenkung erführe, so wäre dadurch die Möglichkeit gegeben, auch in solchen Leitern, wie in verdünnten Gasen, durch das Galvanometer unnachweisbare recurrente Ströme nachzuweisen. Aber meine desfallsigen Versuche, welche dahin zielten, in einem breiteren Kupferstreifen eine solche Ablenkung hervorzurufen und in Folge davon den Strom theilweise auf einen anderen Leiter abzuzweigen und hier durch ein Galvanometer sichtbar zu machen, blieben erfolglos; weshalb ich dieselben hier nicht näher beschreibe. Die Frage bleibt unentschieden.[2])

285) Ein Inductionsstrom in verdünnten Gasen kehrt theilweise auf seinem Wege um, wenn er aus einem weiteren Raume in einen engeren Kanal tritt (258). Sollte nicht auch das Gleiche stattfinden, wenn derselbe aus einem dicken Kupferdraht in einen feinen tritt? Wenn das aber der Fall wäre, so würde daraus folgen — vorausgesetzt, dass gewöhnliche Ströme und Inductionsströme sich nicht wesentlich von einander unterscheiden, etwa nur in der Art, wie in ihnen die Elementarströme auf einander folgen —, dass ein Strom, wenn er seinen Weg durch einen Leiter nimmt, der aus dünnen und dicken Drähten zusammengesetzt ist, durch theilweise Umkehr geschwächt wird. Das Galvanometer würde zwar in der ganzen Länge der Leitung einen Strom von gleicher Stärke nachweisen; denn ein sich abzweigender umkehrender Strom schwächt den ursprünglichen Strom gerade um

eben so viel, als den sich fortsetzenden. Aber es müsste in dem fraglichen Falle die durch das Galvanometer angezeigte Stromstärke eine schwächere sein, als wenn der aus dünnen und dicken Drähten zusammengesetzte Leiter durch einen gleichförmig dicken Draht ersetzt würde, der einen Widerstand böte, der der Summe der Widerstände in den dicken und dünnen Drähten gleich wäre. Dann würde also für den fraglichen Fall das Ohm'sche Gesetz eine Correction fordern, über deren Vorhandensein und Bedeutung nur directe Versuche entscheiden können.[3])

286) Dass es, wie recurrente gewöhnliche Ströme in Metallen, auch recurrente *elektrolytische* Ströme giebt, lässt sich in gleicher Weise darlegen. Hierbei tritt uns, nach Analogie der 284. Nummer, die Frage über die Ablenkung solcher elektrolytischen Ströme im Innern des Elektrolyten durch den Magnet entgegen.

Ich stellte ein flaches Gefäss, dessen Boden aus einer grossen Daguerrotypplatte bestand, mitten auf die genäherten Halbanker des grossen Elektromagneten und goss in dasselbe eine Lösung von Bleisuperoxyd in Kalilauge. Indem ich, bevor der Magnet erregt war, mit der negativen Elektrode einer Kette von zwei Grove'schen Elementen die Oberfläche der Flüssigkeit in ihrer Mitte und mit der positiven Elektrode die Daguerrotypplatte berührte, erhielt ich auf dieser, wie Herr Becquerel es gelehrt hat, die schönsten kreisrunden Ringe, deren Durchmesser in wenigen Sekunden bis zu 10—12^{cm} anwuchs. Auch nicht die geringste wahrnehmbare Aenderung fand in der Form dieser Ringe statt, wenn sie nach vorhergegangener starker Erregung des Elektromagneten erzeugt wurden, auch dann nicht, wenn die negative Elektrode die Oberfläche der Flüssigkeit an anderen Punkten berührte. Dieses negative Resultat stimmt mit den älteren Beobachtungen über die Nichteinwirkung des Magneten auf chemische Zersetzung durch den Strom überein.

287) Das reinste Beispiel recurrenter Ströme bieten die elektrischen Lichtausstrahlungen dar, die in gasverdünnten Räumen von den einzelnen Punkten der negativen Elektrode divergirend nach der umgebenden Glaswandung hingehen und von dieser wieder zur Elektrode zurückkehren. Jedes solche divergirende Büschel elektrischer Ströme, das unter günstigen Verhältnissen bis zur Glaswandung sichtbar ist, concentrirt sich unter der Einwirkung des Magneten zu einer hellen Lichtlinie, der erleuchteten, mathematisch scharf gezeichneten, durch den jedesmaligen Ausgangspunkt gehenden magnetischen Curve. Allein auf einer solchen Curve kann ein elektrischer Strom ungestört durch den Magneten sich hin und her bewegen. Dieses einfache Gesetz,

dessen experimentale Tragweite vollkommen begründet ist, steht in keinem Zusammenhange, vielmehr in directem Widerspruche mit den bekannten elektromagnetischen Gesetzen.[4]) Die Lösung dieses Widerspruches führt uns, wie ich glaube, zu der nothwendigen Annahme, dass wir *die Wirkung auf fertige Ströme*, wie sie die bisherigen Gesetze fordern, von der *Wirkung auf Ströme während ihres Entstehens* unterscheiden. Diese Auffassung wird durch das in meiner letzten Abhandlung*) gewonnene Resultat in merkwürdiger Weise unterstützt, dass nämlich in den Versuchen, auf welche ich hier lediglich verweise, wenn die Entladung in Gasen von äusserster Verdünnung erfolgt, die *neue* magnetische Wirkung eintritt, um bei allmähligem Zutreten des Gases bald der durch *die alten Gesetze bestimmten* Wirkung zu weichen. Nach meiner Auffassung kommt dies darauf hinaus, dass ein fertiger Strom hinlängliche Menge ponderabler Materie als Träger fordert, und dass er dann an der Materie haftet, auf welche die Wirkung sich überträgt. Wenn dagegen die Menge der Materie nicht hinreichend ist, so finden die von mir zuerst beschriebenen Erscheinungen statt, um auch ihrerseits bei der vollständigen Abwesenheit von Materie zu verschwinden. Damit in Uebereinstimmung darf bei der bekannten Rotation des elektrischen Lichtbogens, damit dieser sich bilde, das Gas nicht zu stark verdünnt sein, nur ein solcher Bogen rotirt wie ein elektrisch durchströmter Kupferdraht um den Magnetpol, bei zu starker Verdünnung hört die Rotation auf. Es kann auch der Magnet einen fertigen Strom wieder zerstören; dann tritt die neue magnetische Wirkung, elektrische Strömung nach magnetischen Curven, deutlich auf. Es ist dies dann namentlich der Fall, wenn eine weitere Geissler'sche gewöhnliche oder Inductionsröhre in axialer Lage auf die genäherten Halbanker des grossen Elektromagneten gelegt wird, wobei oberhalb der Stelle der grössten Wirkung der concentrirte Lichtstrom von der einen Seite der Röhre, indem er in wogendes Licht sich auflöst, auf die andere Seite derselben hinübertritt (123).

Wenn ich mich in meiner Auffassungsweise nicht irre, können wir fortan nicht mehr vermeiden, auf theoretischem und experimentalem Wege auf den Begriff und die Bildung eines elektrischen Elementarstromes zurückzugehen. Erscheinungen, welche sich nicht unter bekannte Gesetze bringen lassen, vielmehr mit diesen zu streiten scheinen, sind in der Regel berufen, uns neue Aufschlüsse über das Wirken der Naturkräfte zu geben, namentlich dann, wenn andere Gesetze, welche eben so einfach sind, als diejenigen, die ihre Anwendbarkeit verloren

*) Pogg. Ann. Bd. 113, S. 263 ff. [Abh. 38, Werke II, S. 625 ff.]

haben, den neuen Erscheinungen einen allgemeinen Ausdruck geben. Das ist der Fall mit den Erscheinungen, die ich im Jahre 1857 an der negativen und in dem folgenden Jahre an der positiven Elektrode zuerst beobachtete.

Gasspectra in recurrenten elektrischen Strömen.

288) Für die elektrische Spectralanalyse der gasförmigen Körper ist es von Wichtigkeit, eine Berührung derselben mit den Elektroden zu vermeiden, einerseits um das Eintreten der Materie der Elektrode in die Lichterscheinung, andererseits um die chemische Wirkung zwischen dieser und dem Gase oder Dampfe zu eliminiren. Um so mehr ist dieses letztere wichtig, weil wir unter den obwaltenden Verhältnissen über diese chemische Wirkung keinen Anhaltspunkt in dem chemischen Verhalten unter gewöhnlichen Umständen finden. Wenn wir zum Beispiel erwägen, dass bei Anwendung von Platin das Platin der negativen Elektrode entweder allein für sich oder verbunden mit dem in der Röhre befindlichen Sauerstoff, Brom, Chlor u. s. w. zur umgebenden Glaswandung übergeführt wird, um dort einen Spiegel zu bilden, der anfänglich eine dem reinen Platin oder der Verbindung desselben entsprechende Färbung hat, bald aber undurchsichtig wird*) — wie sollten wir da erwarten, dass andererseits Aluminium, als negative Elektrode angewandt, sich sichtbar nicht verflüchtigt und Sauerstoff, Brom, Chlor nicht aus der Umgebung aufnimmt, um sich damit chemisch zu verbinden?

289) Wenn recurrente Ströme das verdünnte Gas in der Capillarröhre, welches allein mit Glas in Berührung ist, glühend machen, so kann diese sicherlich keiner directen chemischen Wirkung — recurrente Ströme zersetzen wenigstens keinen Elektrolyten — sondern nur der Wärme im Geleite des Stromes zugeschrieben werden, wobei es

*) Die schönsten von mir beobachteten Spiegel zeigte in ihrem weiteren Theile eine elektrische Spectralröhre mit Platin-Elektroden, welche ich der Freundlichkeit des Herrn Morren verdanke. Bei der Anfertigung derselben war die Röhre ganz mit Quecksilber angefüllt, im luftleeren Raume sorgfältig ausgekocht, und, nachdem ein Minimum Wasserstoffgas eingeführt, das Quecksilber fast ganz wieder herausgelassen worden. Das Spectrum dieser Röhre war das combinirte des Wasserstoffgases und des Quecksilbers. Offenbar trug das Gas durch seine hohe Temperatur zur Entwicklung des Quecksilberdampfes bei; denn ohne die Gegenwart eines anderen Gases würde der Quecksilberdampf unter denselben Verhältnissen nicht glühend werden. Das Licht der Röhre verlor aber mit der Zeit die ursprüngliche Intensität, wahrscheinlich weil das von der negativen Elektrode zur Glaswandung übergeführte Platin oder Platinamalgam Wasserstoffgas absorbirt hatte.

Auch kleine ebene Platinspiegel liessen sich auf diese Weise erhalten.

natürlich scheint anzunehmen, dass ein Strom, wenn er auf seinem Wege zurückkehrt, zweimal die gleiche Wärme entwickelt. Die Ansicht, von der ich gleich bei meinen ersten Untersuchungen über elektrische Entladungen durch gasverdünnte Räume ausgegangen bin, dass das Leuchten des Gases in einer Spectralröhre einzig und allein der den Strom begleitenden Wärme zuzuschreiben sei, habe ich seitdem in directer Weise bestätigt gefunden. Nach einigen vergeblichen Versuchen, Wasserstoffgas so stark direct zu erhitzen, bis es die schöne, charakteristische, intensiv rothe Farbe einer Wasserstoff-Spectralröhre erhalte, erreichte ich meinen Zweck dadurch vollständig, dass ich aus zwei Gasometern Sauerstoffgas und Wasserstoffgas zusammenströmen liess und anzündete und dabei den Druck so zu reguliren suchte, dass das überschüssige, nicht verbrennende Wasserstoffgas durch das mit Sauerstoffgas in der Flamme sich verbindende möglichst stark erwärmt wurde. Obgleich eine constante Färbung der Flamme nicht erzielt wurde, so trat doch vorübergehend in dem oberen Theile der Flamme (auch wenn gewöhnliches Leuchtgas das reine Wasserstoffgas ersetzte) das fragliche charakteristische Roth auf und wies unzweifelhaft Wasserstoffgas nach. In anderen Fällen, wo das Roth weniger deutlich, aber dauernder hervortrat, zeigte das Babinet'sche Goniometer die beiden stärkeren Wasserstoffgaslinien, H_α und H_β.

Nachdem ich früher schon nachgewiesen habe, dass die Farbe des durch den elektrischen Strom leuchtend gemachten Gases von der Dichtigkeit dieses letzteren unabhängig ist, und nur ein stärkerer Strom erfordert wird, um dichteres Gas zum Glühen zu bringen, halte ich nunmehr nach den vorstehenden Versuchen meine alte Behauptung für vollständig erwiesen, dass nämlich Wasserstoffgas, stark genug erwärmt, mit intensiv rother Farbe glühet, und dass das Licht dieser Flamme im Wesentlichen aus rothem, grünlich blauem und violettem Lichte von jedesmal absoluter Brechbarkeit zusammengesetzt ist. Und hiernach erscheint es mir vollständig gerechtfertigt, den allgemeinen Satz aufzustellen, *dass jedes Gas, jeder Dampf bei hinlänglich starker Erhitzung, vorausgesetzt, dass dieselben in Folge der Erhitzung nicht chemisch zersetzt werden, mit eigenthümlichem Lichte, das bereits durch meine elektrischen Spectralbeobachtungen vom Jahre 1859 für eine Reihe von gasförmigen Substanzen analysirt worden ist, glüht und, in Gemässheit dieser Analyse, im Allgemeinen aus farbigem Lichte von mehrfacher aber absoluter Brechbarkeit zusammengesetzt ist.* Erhitzte Luft (Stickstoff) giebt so eine Flamme von röthlich violettem, Kohlenoxydgas von intensiv grünlich weissem, Sauerstoffgas von weniger intensivem röthlichem Lichte; Zinnchlorid giebt eine Flamme, die bei zunehmender Erhitzung

von schönem Blau durchs Grüne zum schönsten intensiven Goldgelb übergeht, bis zuletzt der Dampf sich allmählig zersetzt.

290) Nachdem sich meine Voraussetzung, dass, wenn wir in verdünnten Gasen die elektrische Entladung durch eine Capillarröhre leiten und dadurch concentriren, in dem engen Kanale auch die Intensität des Lichtes zunimmt, so glücklich bestätigt und so zu den gewöhnlichen elektrischen Spectralröhren geführt hatte, lag der Gedanke nahe, nach demselben Principe auch *Inductions-Spectralröhren* herzustellen. Es war dazu weiter nichts erforderlich, als die Gassiot'sche Inductionsröhre (119) in ihrer Mitte zu verengen. Dem entsprechend wurde eine evacuirte Röhre aus drei Theilen zusammengesetzt, aus zwei weiteren mit Stanniol belegten Röhren an den beiden Enden, die durch eine Capillarröhre in der Mitte communicirten. Wenn die beiden Stanniolbelege mit den Drahtenden der Inductionsrolle verbunden wurden, zeigte sich vollständig die erwartete Erscheinung. Nur erwies sich eine derartige Röhre für den praktischen Gebrauch wenig geeignet, weil die äussere elektrische Spannung störend war und die elektrische Lichterscheinung unruhig machte.*) Ganz ruhig aber ist die Lichterscheinung, wenn wir in der beschriebenen Geissler'schen Inductionsröhre (272) statt des mittleren weiten Theiles eine Capillarröhre einschalten. Bei der Ausführung des Apparates durch Herrn Geissler hat derselbe die Form der Fig. 21, Taf. V. erhalten und lässt für die Anwendung nichts zu wünschen übrig.

291) Während Wasserdampf in einer gewöhnlichen Spectralröhre mit Platinelektroden wie früher nur das Spectrum des Wasserstoffgases gab, gab er in der Inductionsröhre neben diesem Spectrum auch noch das freilich schwächere Spectrum des Sauerstoffgases. Die Bestandtheile des durch Wärme zerlegten Wassers befanden sich in der neuen Röhre neben einander und gaben sich *beide* durch das Spectrum zu erkennen.

Analoges findet bei zusammengesetzten Verbindungen statt. Einstweilen mag es genügen, die blosse Thatsache hier anzuführen. Wie vorsichtig wir aber bei solchen Analysen unwägbarer Gasquantitäten sein müssen, beweist zum Beispiel der Versuch, den Herr Geissler zuerst machte, dass, wenn man durch eine Löthrohrflamme den engen Theil der Spectralröhre vor dem Spalt des Babinet'schen Goniometers erwärmt, sogleich in ganzer Schönheit die Natriumlinie auftritt, um

*) Dass durch Umgebung des Beleges mit einer vollkommen isolirenden Schicht dieser Uebelstand sich vollständig beseitigen lässt, ist wahrscheinlich, und dann brauchen wir nicht zu der neuen künstlichen Form überzugehen.

später wieder ganz oder fast zu verschwinden. Dabei bildet sich Natriumdampf, der von dem Glase herrührt und unter Mitwirkung des bereits vorhandenen glühenden Gases erwärmt wird.

292) Schliesslich erwähne ich vorläufig noch eine Reihe von bemerkenswerthen Versuchen, welche, um ihnen ihre ganze Beweiskraft zu geben, grossentheils mit Inductionsröhren angestellt worden sind.

Wir können nur durch ganz besondere Vorsichtsmaassregeln aus unseren Spectralröhren das Wasser entfernen, das sich, wenn auch nur die geringsten Spuren desselben zurückbleiben, nach seiner Zersetzung durch die Wärme des Stromes kenntlich macht in den Wasserstoffgasstreifen, namentlich in den Streifen H_α und H_β, welche neben den Streifen des zu analysirenden Gases mehr oder weniger deutlich hervortreten. Wählen wir eine solche Röhre, in welcher H_α und H_β bei der prismatischen Analyse kaum sichtbar sind, und demnach das zu analysirende Gas bei durchgehendem Strome ungestört in der ihm eigenthümlichen Farbe (Kohlenoxydgas blendend weiss mit einem Stich ins Grüne, Luft (Stickstoff) röthlich violett) leuchtet, und verdünnen dann dieses Gas durch den Quelksilberevacuator mehr noch als es bereits in den Geissler'schen Röhren verdünnt ist, so tritt ein Moment der Verdünnung ein, wo die Röhre in überraschender Weise ihre bisherige Farbe verlierend schön roth wird, und die Analyse durch das Prisma nur noch die Streifen des reinsten Wasserstoffgases giebt.*) *Träger der elektrischen Entladung ist jetzt Wasserstoffgas allein;* das ursprüngliche Gas, namentlich Luft (Stickstoffgas) und Kohlensäure (Kohlenoxydgas), *ist nur bis zu einem gewissen Grade der Verdünnung Träger der Entladung geblieben.* Wenn wir die Verdünnung bis zur möglichen äussersten Grenze treiben, bleibt aber auch das rothe Wasserstoffgaslicht, sei es, dass dieses Licht, wie oben beschrieben, erst in Folge der Verdünnung auftritt, oder die Röhre ursprünglich mit diesem Gase gefüllt war, nicht unverändert, es verbleicht in ein verwaschenes Violett, was, wie die prismatische Analyse nachweist, Folge davon ist, dass die drei Streifen des Spectrums allmählig blasser werden, so jedoch, dass dieses Erblassen in höherem Grade beim rothen Streifen stattfindet, und dieser Streifen schon erloschen ist, wenn der grüne Streifen noch hell bleibt. Daraus scheint zu folgen, *dass, wenn aus Mangel an ponderabler Materie der Strom allmählig aufhört, zuerst die minder brechbaren Strahlen erlöschen.* Dieses Resultat wird durch die Beobachtung

*) Es scheint, dass bei der fraglichen Evacuirung Kohlensäure und Luft leichter fortgeführt werden als der beim durchgehenden Strome Wasserstoffgas gebende Wasserdampf, der am Glase condensirt ist und sich schwer von demselben ablöst.

bestätigt, dass bei dem Uebergange des hellen rothen Wasserstoffgaslichtes in das verwaschene Violett die ursprünglich kaum bemerkbare Fluorescenz des Glases der Röhre immer schöner wird. Es scheint, dass diese Fluorescenz, grösstentheils durch unsichtbares Licht hervorgerufen, auch dann noch fortbesteht, wenn das elektrische Licht selbst für das Auge gänzlich erloschen ist. (Vergleiche den Fall einer Kugel mit Messingelektroden, die ursprünglich freien Bromdampf enthielt [171].)

293) Die Veränderungen und das allmählige Erlöschen des elektrischen Lichtes (des Lichtes, das in Begleitung des elektrischen Stromes auftritt) sind in weiten Röhren im Wesentlichen dieselben als in engen; auch macht es keinen wesentlichen Unterschied, ob die Entladung zwischen metallischen Elektroden erfolgt oder nicht. Wichtig, namentlich wenn wir von unseren Miniaturversuchen zu den atmosphärischen Erscheinungen einen Ausflug nehmen wollen, bleibt hiernach die Frage, ob die Art der Entladung, wie sie durch die jedesmalige Dichtigkeit des Gases bestimmt wird, wesentlich von der elektrischen Intensität abhängig ist. Wenn wir einmal den kleinen Ruhmkorff'schen Apparat durch ein schwaches Element, das andere Mal den grossen Apparat durch eine starke Kette in Thätigkeit setzen, so haben wir für die elektrische Intensität schon ziemlich weite Grenzen, und innerhalb derselben scheint jene Frage verneint werden zu müssen. Doch sind die Versuche, namentlich für Inductionsströme, die durch metallische Leiter nicht gestört werden, noch zu vervollständigen. Bei zu starker elektrischer Erregung werden die beiden isolirenden kugelförmigen Glasschichten der Geissler'schen Inductionsröhren (272, 290) gleichzeitig in feinen Oeffnungen durchbohrt, ohne dass ein Blitz bemerkbar wird, wohl aber concentrirt sich um die beiden engen Durchgänge das Licht bei späteren Entladungen.

294) Nach vorläufigen Versuchen, die ich in meiner letzten Mittheilung beschrieben habe, können wir für jedes Gas, insbesondere für Luft, eine Grenze der Verdünnung bestimmen, wo die Entladung (zunächst zwischen Elektroden) keine blitzartige mehr ist. Nach dieser Grenze hin werden die blitzartigen Entladungen immer feiner, auf ihre Kosten vermehrt sich allmählig eine sie umgebende Lichthülle, die zuletzt als fadenförmige Entladung allein noch übrig bleibt. Es folgt hieraus, dass die Region der atmosphärischen Blitze eine gewisse Höhe nicht übersteigen kann, und dass in bedeutender Höhe Blitze mit einer Lichthülle umgeben sind. Oberhalb dieser Region der Blitze können elektrische Entladungen in der Atmosphäre nur als Lichtströmungen sichtbar werden, die, anfänglich mehr concentrirt, bei zunehmender

Höhe, in der Region des Nordlichtes, immer mehr sich ausbreiten. Aber die neuen Versuche zeigen, dass es auch hier wiederum eine Grenze der Erhebung giebt, über welche hinaus auch solche diffuse Lichtströmungen nicht mehr stattfinden können. Es giebt mit anderen Worten eine Grenze der Höhe für das Nordlicht.

Ich gehe einstweilen in kein näheres Detail über die bisher gemachten Bestimmungen ein. Es wurde dabei die zu prüfende Röhre an den Quecksilberevacuator, der für solche Untersuchungen die beste gewöhnliche Luftpumpe übertrifft, angeschmolzen, ein besonderes Manometer construirt, und vermittelst des Kathetometers der Quecksilberstand in demselben abgelesen. Um indess einen ungefähren Anhaltspunkt zu haben, bemerke ich, dass nach einer vorläufigen Messung etwa bei einem Barometerstande von $0{,}3^{mm}$ das Licht in der *Luft* zu verschwinden anfängt und bei $0{,}1^{mm}$ vollständig verschwunden ist. Der letztgenannte Barometerstand entspricht einer Höhe von etwa neun geographischen Meilen*), bei welcher *in der Luft* keine elektrischen Entladungen mehr stattfinden können.

Die Höhe bleibt hinter derjenigen bedeutend zurück, welche dem prächtigen und weit verbreiteten Nordlichte vom 29. August, das unter den günstigsten Verhältnissen in Nordamerika beobachtet wurde, angewiesen wird. Die Lichtströmungen desselben folgten nach Herrn Loomis**) der Richtung der magnetischen Inclination (den Bahnen magnetischer Kraftlinien der Erde) und stiegen von einer Erhebung über die Erdoberfläche von 46 (englischen) Meilen ausgehend bis zu einer Höhe von 534 Meilen an.

*) Nach der Formel

$$346{,}023 \cdot \frac{h}{R} = \log \text{brigg.} \frac{p_0}{p},$$

in welcher p_0 den unteren, p den oberen Barometerstand (wonach in unserem Falle $\frac{p_0}{p} = 7600$), R den Radius der Erde, h die Erhebung über die Erdoberfläche bedeutet, erhält man 72210^m. Hierbei ist der Abnahme der Schwere mit der Erhebung Rechnung getragen, aber die constante Temperatur von 0° angenommen worden.

**) *Elias Loomis. On the great Auroral Exhibition of August 28th to September 4th,* 1859. *American Journal of Science and Arts, N. Ser. Vol.* XXXII (1861) *p.* 318.

40.

Analyse spectrale.

(Cosmos, revue encyclopédique hebd. des progrès des sciences, T. XXI, S. 283—88 und 312—315. 1862.)

Sur votre demande, je m'empresse de vous donner une idée générale de l'état actuel de mes recherches concernant les spectres des gaz et des vapeurs.

L'analyse spectrale, telle que je l'ai conçue en 1858 et 1859, consiste à introduire le gaz à examiner dans des tubes, dont une partie est capillaire. Après l'avoir raréfié convenablement au moyen de l'évacuateur à mercure, on fait passer la décharge de l'appareil d'induction à travers le gaz. Le courant électrique, se rétrécissant dans la partie capillaire du tube, rend incandescent le mince filet de gaz, qu'elle contient. La lumière est assez vive pour donner un beau spectre qui, dans le cas général, est composé d'un certain nombre de lignes brillantes et caractéristiques; une de ces lignes, dont on examine exactement la position, fait connaître la nature du gaz mis en expérience.

J'ai opéré aussi sur les gaz ordinaires et sur quelques vapeurs. Dans le cas où la vapeur de la substance qu'on introduit dans le tube n'a pas la densité nécessaire pour faire passer le courant, on se sert d'une lampe pour augmenter la vaporisation jusqu'à ce que le courant passe, et rende la vapeur incandescente. C'est ainsi que j'ai opéré, dans le temps, sur le mercure. En partant du même principe, j'introduisais, pour obtenir le spectre du sodium métallique, un gaz indifférent (hydrogène), dont on connaît le spectre, dans un tube spectral de Geissler. La dénomination de *tube de Geissler*, que j'ai donné à tout tube de forme quelconque renfermant un gaz dilaté à travers lequel, au moyen de deux électrodes, on peut faire passer le courant électrique, a été adoptée généralement. C'est un hommage rendu à l'admirable habileté de cet artiste ingénieux. Le gaz chauffé par le courant contribue à développer et à chauffer la vapeur métallique.

L'on peut distribuer les spectres des différents corps à l'état gazeux en plusieurs classes, dont chacune présente un caractère particulier. Les considérations suivantes rattachent les apparences variées de ces spectres à la composition et à la nature de la lumière même qui émane du gaz rendu incadescent par le courant.

Si la lumière éclairant la fente de l'appareil spectral contient toutes les couleurs de réfrangibilité toujours croissante, depuis le rouge extrême jusqu'au violet extrême, le spectre continu qu'on obtient est composé d'un nombre infini de bandes superposées, dont chacune a la largeur de la fente regardée directement par la lunette. La lumière de Drummond en offre un exemple.

Si, au contraire, la lumière incidente ne contient qu'un nombre limité de couleurs de réfrangibilité une, l'indice de réfraction passant d'une manière discontinue d'une couleur à une autre, le spectre correspondant se compose d'un nombre égal de bandes nettement tranchées, séparées les unes des autres par des espaces noirs et ayant toutes la largeur de la fente.

Ces bandes tendent à devenir des lignes droites mathématiques, si l'on rétrécit la fente de plus en plus. Le gaz hydrogène, le chlore, la vapeur de l'iode et du brome en offrent des exemples dans les conditions que j'ai décrites dans mon mémoire.

Si l'indice de réfraction de deux couleurs consécutives diffère très-peu, il arrive que les bandes correspondantes sont en partie superposées l'une sur l'autre. L'on voit alors, en se servant d'une bonne lunette, le milieu de la bande composée offrir une intensité double, nettement bordée de deux bandes dont la largeur est moitié de celle de la fente.[1]) En rétrécissant la fente de plus en plus, la partie plus éclairée du milieu diminue de largeur et disparaît tout à fait dès que la largeur de l'image directe de la fente est moindre que la distance des lignes medianes. Les deux bandes simples sont alors séparées par un espace obscur. La distance des lignes, milieux des deux bandes, est indépendante de la largeur de la fente. La belle raie double du mercure en présente un exemple.

Si la lumière incidente contient une série continue de couleurs dont l'intensité décroît rapidement avec la réfrangibilité croissante, tandis que les couleurs d'une réfrangibilité immédiatement moindre manquent, la partie correspondante du spectre présente un espace très-lumineux vers le côté rouge, qui s'obscurcit peu à peu vers le côté violet. Si de pareils espaces se succèdent l'un à l'autre, on a l'aspect d'une colonne cannelée et éclairée par la lumière du jour. Les parties

bleues et violettes du spectre de l'azote, regardées par une bonne lunette, se comportent ainsi.

Tout est analogue dans le cas d'espaces, dont l'illumination diminue du côté violet vers le côté rouge. J'en citerai un exemple plus loin.

Si la lumière incidente contient, entre certains limites, des couleurs continues, à l'exception d'interruptions périodiques, le spectre qu'on obtient est divisé par des lignes obscures en une série d'espaces colorés. J'ai énuméré dans la partie rouge, orangée et jaune du spectre de l'azote dix-huit de ces espaces colorés, tous de même largeur. Si le spectre est beau, on voit s'ajouter deux de ces espaces dans la partie sombre adjacente au jaune et trois dans le vert qui le suit. Le spectre du soufre [vgl. Taf. VI.], que M. Geissler a obtenu le premier, est composé tout entier de pareils espaces colorés dont la largeur va en augmentant du côté rouge au côté opposé.

Si nous admettons que la force vive développée par la chaleur qui rend le gaz incandescent soit du même ordre dans le cas d'un spectre continu et dans celui d'un spectre composé d'une ou de plusieurs bandes de lumière parfaitement homogène, il faut en conclure que l'intensité de ces bandes est infiniment plus grande que celle de la lumière d'égale réfrangibilité dans le spectre continu. Il s'ensuit, d'une part, qu'on doit rejeter toute idée d'absorption pour expliquer l'apparition de pareilles bandes à la place du spectre continu. D'autre part, il en résulte qu'en employant un fort grossissement et en augmentant la réfraction, les bandes en question restent nettement dessinées, tandis que le spectre continu et les espaces colorés deviennent presque imperceptible. Ainsi, en me servant de la lunette du grand appareil spectral de Steinheil, j'ai reconnu de suite que les bandes de lumière homogène, que j'avais admises dans la partie violette du spectre de l'azote, n'existaient réellement pas dans les conditions citées; tandis que dans le cas de l'hydrogène, j'ai confirmé dans le fond obscur du spectre l'existence de bandes homogènes d'intensité très-faible.

Lorsque dans le but de donner une température plus élevée au gaz raréfié, je fis passer le courant d'un espace plus large dans le tube capillaire, j'ai observé dès mes premières recherches sur les spectres un changement de couleur accompagnant le changement d'intensité. En d'autres termes, l'intensité lumineuse relative des différentes lignes homogènes qui, dans le cas général, constituent le spectre des gaz, est fonction de la température. J'ai indiqué plus tard que dans le cas de l'hydrogène l'intensité des trois lignes constituant la partie essentielle de son spectre ne diminue pas dans la même proportion, et que la ligne rouge s'éteint la première lorsqu'on s'approche, par la raréfaction

du gaz, de la limite où le courant ne passe plus. Enfin plusieurs observations faites récemment sur le spectre, dans des conditions différentes, paraissent en contradiction directe avec mes anciennes observations. Tout cela m'amena à faire des expériences nouvelles et surtout à pousser l'élévation de température plus loin que je ne l'avais fait dans le temps.

Si l'on se sert de tubes spectraux dans lesquels le gaz est très-fortement raréfié, l'on gagne peu quant à l'intensité lumineuse du spectre, si l'on dépasse une certaine puissance de la bobine d'induction, qui traverse le tube. Pour donner au spectre un éclat extrême, il faut augmenter en même temps *et la densité du gaz et la puissance de la bobine d'induction.* En opérant suivant ce principe indiqué dans un mémoire précédent, on entre dans une voie tout à fait nouvelle. M. Hittorf, professeur de chimie et de physique de l'académie de Münster, a bien voulu, dans ce dernier temps, s'associer à mes travaux. En me bornant en ce moment à une seule classe de phénomènes, je ne choisirai parmi nos expériences que celles, qui mettent en évidence la transformation que subit le spectre d'un même gaz, si l'on augmente de plus en plus sa température en faisant passer un courant plus fort.

En première ligne, je citerai le spectre du gaz hydrogène. Si l'on fait passer le courant d'induction du grand appareil de Ruhmkorff par un tube capillaire très-étroit et peu long contenant ce gaz à une tension d'une demi-atmosphère environ, on obtient un spectre analogue à celui que j'ai obtenu dans le temps du petit appareil d'induction, en raréfiant le gaz très-fortement. Mais, dès qu'on intercale, comme M. Ruhmkorff l'indique, une bouteille de Leyde pour augmenter l'énergie du courant, le spectre change tout à fait d'aspect, il devient continu; la ligne violette et la ligne bleue ne ressortent plus du fond devenu éblouissant et on ne voit à l'une des extrémités du spectre que la ligne rouge devenue plus large, d'un éclat surpassant celui de la partie adjacente du spectre. Enfin, si l'on dirige l'appareil spectral sur la partie large du tube entourant l'électrode, où la lumière avant d'entrer dans le tube capillaire est moins concentrée, un phénomène intermédiaire se présente. L'on voit autour du spectre continu les trois lignes primitives, mais la ligne rouge seule est restée sensiblement telle qu'elle était d'abord, tandis que les deux autres se sont épanouies, la violette plus que la bleue.

Le gaz azote se comporte d'une manière tout à fait différente. Le beau spectre de ce gaz, tel que je l'ai obtenu le premier par le petit appareil d'induction, reste essentiellement le même quand on se sert du grand appareil sans la bouteille, après avoir augmenté sa ten-

sion à 100^{mm} environ. Mais si l'on ajoute la bouteille, tout change. Le spectre nouveau ne retient plus de traces de l'ancien; il est composé d'un grand nombre de belles lignes de réfrangibilité une (séparées en partie par de fines lignes noires), dont aucune ne se trouvait comme telle dans l'ancien spectre. Les spectres du soufre et du sélénium se comportent d'une manière analogue.

Le spectre de l'oxygène est faible, s'il est pris dans les anciennes conditions; mais si la tension du gaz est de 100^{mm} environ, il donne, au moyen du grand appareil d'induction avec la bouteille, un spectre des plus beaux composé de lignes de réfrangibilité une. L'intensité plus grande du courant fait naître un grand nombre de lignes nouvelles. La même chose arrive dans le cas du chlore et de l'iode.

L'ancien spectre de la vapeur du mercure est essentiellement composé de trois lignes brillantes dont l'une est double. Dans le spectre nouveau, d'autres lignes s'ajoutent aux anciennes, surtout des lignes rouges et une ligne orangée double qui d'abord n'étaient pas indiquées du tout, tandis que les lignes faibles ressortant du fond de l'ancien spectre s'étaient moins développées, ainsi que cela n'a pas lieu dans le cas du gaz hydrogène.

Dans ce même spectre du mercure les raies vertes et orangées, nettement tranchées quand la température était faible, s'étalent de plus en plus du côté du rouge à mesure que la température augmente.

Je renvoie à une seconde lettre l'exposé de la methode d'analyse spectrale telle que nous la concevons maintenant.

Après avoir, dans ma première lettre, discuté sommairement la question physique des spectres, il me suffira de quelques mots pour faire ressortir leur emploi dans l'analyse chimique.

Il semble qu'aucun corps composé à l'état gazeux n'échappe à la décomposition, dans ses derniers éléments, si l'on augmente suffisamment sa température. Pour parvenir à cette décomposition, on introduit le corps gazeux dans un tube Geissler, puis on chauffe le mince filet de gaz, à l'intérieur de la partie capillaire de ce tube, au moyen d'un courant d'induction que l'on y fait passer. On examine ensuite, avec le prisme, le filet devenu incandescent. Dans mes anciens tubes spectraux, un courant faible suffit pour obtenir le spectre du gaz très-raréfié; mais en ce cas, la décomposition, si toutefois elle existe, n'est souvent que partielle. Deux de ces tubes contenant, l'un de l'acide carbonique, l'autre du gaz oxyde de carbone, donnent tous les deux le même spectre (celui de ce dernier gaz), qui ne change pas essentiellement si l'on augmente de plus en plus la force de la bobine d'induc-

tion; au delà d'une certaine limite, la température du gaz ne croît plus sensiblement. Dans les nouveaux tubes spectraux contenant du gaz à une densité plus grande, il faut une bobine plus forte pour donner à ce gaz la même température que dans le premier cas; mais le gaz alors s'élève à une température beaucoup plus élevée quand on fait croître de plus en plus la force de la bobine. Bornons-nous encore au cas des deux gaz que nous venons de citer. Dans nos expériences récentes, nous donnions, M. Hittorf et moi, aux deux gaz renfermés dans deux des nouveaux tubes une pression de 100^{mm} environ, et nous nous servions des décharges du grand appareil de Ruhmkorff pour illuminer les gaz.

En déchargeant l'appareil à la manière ordinaire, nous obtenions encore le même spectre qu'auparavant, celui de l'oxyde de carbone; mais en interposant une bouteille de Leyde de grandeur convenable, on voyait apparaître tout à coup le beau spectre de l'oxygène, identique à celui qu'on obtient directement lorsque, après avoir introduit sous la même pression le gaz oxygène pur, on fait agir le courant de la même manière. On peut répéter l'expérience aussi souvent que l'on veut. En employant le courant d'induction ordinaire, on obtient toujours dans les deux cas le spectre de l'oxyde de carbone, et en faisant intervenir la bouteille, celui de l'oxygène. J'en conclus qu'à une température moins élevée, le gaz acide carbonique se décompose en carbone et en gaz oxyde de carbone, ce dernier gaz n'étant pas décomposé; tandis qu'à une température plus haute, ce même gaz, soit qu'on l'introduise directement dans le tube spectrale, soit qu'on le produise à l'intérieur du tube par une première décomposition de l'acide carbonique, est toujours décomposé en oxygène et carbone.

Ce n'est pas tout: il est prouvé en même temps que, immédiatement après la décomposition, la température s'abaissant, la recomposition de l'oxygène et du carbone a lieu. Je n'entre dans aucun détail sur les différentes questions que ces expériences soulèvent.

En citant des exemples où la décomposition d'un corps est mise en évidence par l'analyse spectrale, je ne dois pas passer sous silence la décomposition de la vapeur d'eau. Nous introduisions de l'eau dans l'intérieur d'un des nouveaux tubes, et avant de fermer le tube à la lampe, nous faisions bouillir l'eau pour en chasser l'air. En faisant passer alors le courant, sans bouteille de Leyde, nous n'obtenions que les trois seules raies de l'hydrogène sur fond obscur. Avec la bouteille, au spectre de l'hydrogène s'ajoutait celui de l'oxygène nettement dessiné. Cette expérience contient en même temps une confirmation de la facile transmission du courant électrique à travers le gaz hydro-

gène. Lorsqu'un gaz raréfié quelconque a retenu la moindre trace d'eau, cette eau se décompose, et les raies de l'hydrogène, surtout la raie rouge et la raie bleue, se détachent de la manière la plus nette sur le spectre du gaz examiné. Je rapporterai encore l'expérience suivante, que j'ai déjà décrite ailleurs. Si l'on fait passer le courant à travers un tube spectral contenant, par exemple, du gaz azote séché, mais sans un soin extrême, en communication avec l'évacuateur à mercure, on voit d'abord, pendant qu'on fait le vide, le beau spectre de l'azote qui, si l'on s'approche de la limite de la raréfaction, est remplacé par celui de l'hydrogène.

Comme troisième exemple, je choisis le chlorure de zinc. Après l'avoir introduit en petite quantité dans l'intérieur du tube spectrale, on fait le vide aussi bien que possible. Alors en chauffant le tube, on obtient au premier moment le spectre du chlore, peu développé, mais facilement reconnaissable; puis, en continuant de chauffer, ce spectre, qui a d'abord augmenté d'intensité, disparaît peu à peu, pendant que le spectre du zinc métallique se développe de son côté. À la fin on ne voit que le spectre de ce métal composé essentiellement de quatre lignes eminemment brillantes et nettement dessinées, l'une rouge, plus réfrangible que la raie semblable de l'hydrogène, les trois autres dans les régions verte et bleue. Si le tube se refroidit, on voit dans l'ordre inverse le spectre du zinc disparaître, puis faire place au spectre du chlore. Sauf la non-coïncidence des raies brillantes, le chlorure de cadmium se comporte absolument de la même manière que le chlorure du zinc.

M. Miller a présenté dernièrement à la Société royale de Londres des photographies très-remarquables des bandes brillantes des spectres de tous les métaux. Ces bandes ne paraissent pas nettement tranchées comme les nôtres. Mais les différences s'expliquent très-probablement par l'élévation plus grande de température à laquelle naissent les bandes lumineuses, dans les expériences de M. Miller. Je crois pouvoir conclure des faits cités dans ma première lettre, que ces spectres étaient en marche vers le spectre continu.

Si l'on peut disposer d'une bobine assez puissante, rien n'empêche d'aller, quant à la densité du gaz à examiner, jusqu'à une atmosphère entière et même au delà. Rien enfin ne s'oppose à ce qu'on fasse passer un courant continu de gaz à travers le tube capillaire, au lieu de renfermer hermétiquement le gaz dans le tube. Un tube de verre, ouvert à ses deux extrémités, rendu capillaire dans sa partie moyenne sur une longueur de 1 à 2 centimètres, et dans lequel on fait pénétrer de chaque côté deux fils de platine isolés et s'arrêtant aux deux bords

du rétrécissement, devient un véritable *analysateur chimique.* On met une de ses extrémités en communication avec l'appareil dans lequel on développe le gaz à examiner; ou avec le col de la cornue renfermant le liquide en ébullition dont on veut analyser la vapeur. Le fluide, gaz ou vapeur, qui traverse l'analysateur, devient incandescent dans la partie capillaire, si l'on unit les deux fils de platine aux réophores de la bobine d'induction. Si l'on veut opérer à la pression ordinaire, on laisse le gaz ou la vapeur s'échapper librement par l'autre extrémité de l'analysateur. Si, au contraire, on juge préférable d'opérer à une pression plus basse, les moyens pour y parvenir se présentent facilement. Je n'insisterai pas sur ce point.

Le caractère essentiel de l'analyse dont je viens de vous donner un rapide aperçu consiste en ce qu'il ne s'agit plus seulement de reconnaître certaines substances entrant dans la composition d'un corps donné, mais de mettre en évidence tous ses éléments. Pour y parvenir d'une manière sûre et complète, il ne suffit pas de déterminer, dans des conditions spéciales, les spectres des corps simples à l'état gazeux; il faut encore pour chaque corps fixer la série des changements que subit ce spectre par l'élévation successive de la température. Il faut également tenir compte de la transmission plus ou moins facile du courant électrique à travers les différentes vapeurs, ainsi que du transport de la substance des électrodes.

Jusqu'ici, M. Hittorf et moi, nous n'avons fait qu'aborder la question chimique, et les autres questions qui s'y rattachent. La portée de ce nouveau mode d'analyse spectrale nous paraît grande.

41.

On the Spectra of Ignited Gases and Vapours, with especial regard to the different Spectra of the same elementary gaseous substance.

By Dr. J. Plücker, of Bonn, For. Memb. R. S., and Dr. J. W. Hittorf, of Münster.

(Phil. Transactions 155, I, 1865, S. 1—29. Received February 23, Read March 3, 1864. — Auszug in Phil. Mag. 28, S. 64, 1864.)

1) In order to obtain the spectra of all the elementary bodies, you may make use either of flame or the electric current. For this purpose flame is preferable on account of its easy management, and therefore was immediately introduced into the laboratory of the chemist. But its use is rather limited, the metals of alkalies being nearly the only substances which, if introduced into flame, give spectra exhibiting well-defined bright lines. In the case of the greater number of elementary substances the temperature of flame, even if alimented by oxygen instead of air, is too low. Either these substances are not reduced into vapour by means of flame, or, if reduced, the vapour does not reach the temperature necessary to render it luminous in such a degree that by prismatic analysis we obtain its characteristic rays. The electric current, the heating-power of which may be indefinitely increased by increasing its intensity, is alone fitted to produce the peculiar spectra of all the elementary bodies.

2) In applying the electric current we may proceed in two ways. In one mode of proceeding the substance to be examined by its spectrum is at the same time, by means of the current, transformed into vapour and rendered luminous. In the other mode the substance is either in the gaseous state, or, if not, has been converted into it by means of a lamp, and the electric current ignites the substance in passing through.

3) The first way of proceeding is the least perfect, but we are obliged to recur to it in the case of all such elementary bodies as

neither by themselves nor combined with other substances can be vaporized without altering the least-fusible glass. If the substance to be examined be a metal, the extremities of the conducting-wires are made of it and placed at a short distance from one another. When the strong spark of a large Leyden jar, charged by Ruhmkorff's powerful induction-coil, is sent through the space between the two extremities of the conducting wires, minute particles of the metal, starting off from them, are volatilized: even in the gaseous state they conduct the electric current from point to point and exhibit, while heated by it, the characteristic spectral lines of the metal. In all experiments made in this way, either air or another permanent gas occupied the space between the two extremities of the wires. The consequence of this is, the interposed gas partly conducting the electric current on its way through it, that two spectra are obtained at the same time — the spectrum of the metal and the spectrum of the interposed gaseous medium. This inconvenience is the greater, as in most cases the number of bright lines constituting gas-spectra is a considerable one; it is least in the case of hydrogen, the spectrum of which, if appearing under these conditions, becomes nearly a continuous one (59). If the substance submitted to experiment be not a metal or charcoal, the extremities of the metallic wires are to be covered with it. Then we get with the spectrum of the non-conducting substance at the same time the spectrum of the metal covered by it.

Fig. 58.

4) The spectra are obtained the most beautifully and are the most suitable for examination in their minute details, if the substance be in the gaseous state before the electric discharge is sent through it. The spectral tubes for enclosing gas, first proposed and employed by one of us, were in most cases, with some modifications, adopted for our more recent researches. Our tubes, as represented by the diagram (fig. 58), generally consist of a capillary middle part 30—40 millims. long, and 1,5—2 millims. in diameter, forming a narrow channel, by which two larger spheres, with platinum electrodes traversing the glass, communicate with one another. The small tube starting from one of the spheres serves to establish the communication with the exhauster, to which it is either attached by means of a cement (sealing-wax for instance), or soldered by the blowpipe. The exhauster, made solely of glass, without any metal, is connected with an additional system of glass tubes and glass cocks, by means of which the spectral tube is

most easily filled with the gas to be examined. If the gas be a permanent one, the apparatus by which it is developed, and its accessory parts, by which it is purified and dried, may, as well as the spectral tube, simultaneously and separately be evacuated. The gas arrives directly from the apparatus into the tube, which, *ad libitum*, may be alternately filled and exhausted again. Finally, the tension of the gas is regulated and measured by means of a manometer in connexion with the exhauster.

5) In order to compare with one another the spectra corresponding to different densities of the gas, or even to a mixture of different gases, the tube may be examined by the spectroscope while attached to the exhauster. But generally the spectral tube was blown off and hermetically sealed at the extremity of the narrow tube star-

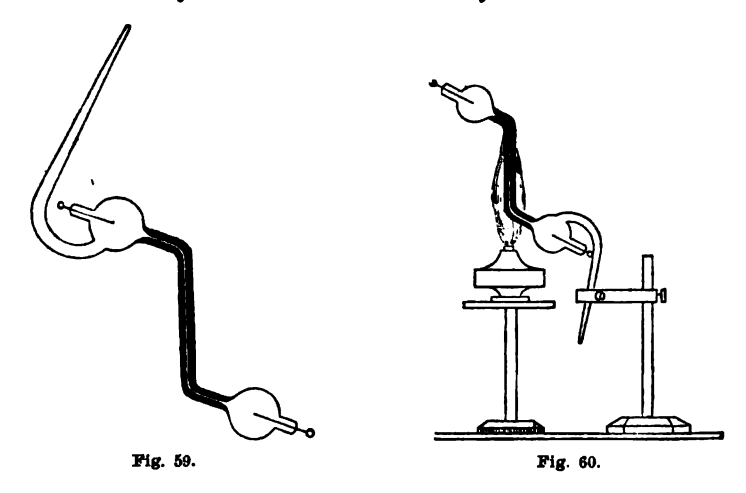


Fig. 59. Fig. 60.

ting from one of the spheres. This tube equally serves to attach the spectral tube before the slit of the spectroscope.

6) If the substance submitted to examination were at the ordinary temperature in the liquid or solid condition, the tube destined to receive it was made of a glass difficultly fusible, and bent as shown by the diagram (fig. 59). After having introduced into it a small quantity of the substance, the last traces of air were expelled from the tube, which was finally blown off. Put before the slit of the spectroscope, the enclosed substance was, by means of a lamp, reduced into vapour and, if necessary, kept in the gaseous state (fig. 60), and the density of the vapour regulated. The glass of our spectral tubes of this description is fused with such difficulty, that these highly evacuated tubes, when becoming red-hot by the lamp, are not altered by the pressure of the surrounding air.

7) Before giving a general account of the results we have obtained, it seems necessary to enter into some preliminary discussions regarding the admirable working of Geissler's exhauster, and the phenomena shown by our tubes when highly evacuated by it. The essential part of Geissler's exhauster is a large glass ball, containing ten to twenty kilogrammes of mercury, which in its upper part communicates, by means of a doubly perforated stopcock of glass, either with the free air, or with the spectral tube to be evacuated. From the lower part of the ball, which is invariably fixed, descends a longer tube of glass communicating at its lower extremity with a moveable similar tube, the free end of which enters into a large open bottle. When this bottle with the moveable tube is lifted up, the mercury within the apparatus entirely fills the ball, if communicating with the air. This communication having been interrupted, a Torricellian vacuum is formed when the bottle descends. By establishing the communication with the spectral tube, the gas within it will be dilated. After the ascent and descent of mercury has thus been alternately produced often enough, no perceptible trace of air will remain within the spectral tube.

8) A tube evacuated in this way does not permit the induction current of Ruhmkorff's smaller apparatus (which in air gives a spark of about 15 millims.) to pass through. The current of his large apparatus forces a passage; but the spectrum we obtain in this case is very faint; it shows no traces of the bands of nitrogen, but solely the lines of hydrogen and the large fields of vaporized carbon (51). The hydrogen-lines take their origin from hygroscopic water covering the interior surface of the spectral tube, the carbon-bands probably from the minute traces of fatty matter hitherto employed in greasing the stopcocks. (The oxygen simultaneously obtained by decomposition is not indicated.) The hydrogen-lines given by spectral tubes made of common glass are more brilliant than those of tubes made of less fusible glass, the hygroscopic state of the glass not being the same in both cases. Though within the interior of the exhauster the air is in contact with the surface of concentrated English sulphuric acid, or, what is preferable, with anhydrous phosphoric acid, we never succeeded in expelling the last traces of hygroscopic water, not even by strongly heating the spectral tube during evacuation.

If, in the usual way, a Leyden jar be intercalated into the current of Ruhmkorff's large induction coil, we must conclude, from the powerful charge of the jar, as proved by flashes of light, that within the spectral tube the tension of electricity, before it effects its passage,

is very high. In this case the electric light is more bright, and of a fine colour like that of blue steel. When analyzed by the prism, it shows the spectral lines of hydrogen and oxygen, mixed with other spectral lines, among which those of sodium and silicium are the brightest. At the same time the interior surface of the capillary part of the tube tarnishes. Hence we conclude that the decomposed glass partly conducts the current.

By means of our tubes, therefore, the theoretical conclusions of Dr. Faraday, that electricity being merely a peculiar condition of ponderable matter cannot exist without it, and cannot move without being carried by it, are confirmed and supported in a striking way.*)

9) As soon as the tube encloses perceptible traces of air, the spectral lines resulting from the ingredients of the glass entirely disappear. Though the temperature of the gas be raised by the passing current to an immense height, nevertheless, on account of its great tenuity and the short duration of the discharge, the gas is not able to heat the surface of the glass sufficiently to volatilize it. In this case also no spectral lines owing to particles starting from the platinum electrodes appear in the capillary part of the tube. Those lines are to be seen only near the electrodes, namely, in the aureola surrounding the negative pole.

10) The temperature of the particles of air seized by the weakest electric spark by far surpasses the temperature of the hottest obtainable flame. For no flame whatever shows the spectral lines of air, which are constantly seen in the spark. In order to raise the temperature of the discharge of Ruhmkorff's induction coil, you may either increase the power of the inducing current, or diminish the duration of the induced one. The last plan may be found preferable in most cases. The heat excited in a given conductor by a current sent through it increases in the ratio of the square of intensity, but decreases in the ratio of the duration of the current. Admitting, therefore, that the conductibility is not altered by elevation of temperature, and that the quantity of induced electricity remains the same, we conclude that the heating-power of the induced current is in the inverse ratio of its duration. But the resistance opposed by gases to the passage of electricity depends essentially upon their temperature. At the ordinary temperature it is rather too great to be measured,

---

*) Mr. Gassiot has already obtained vacua so nearly perfect as to present an obstacle to electric conduction. See Philosophical Transactions for 1859, p. 148.

but, according to hitherto unknown laws, it rapidly decreases when the temperature rises beyond that of red heat. The law above mentioned is therefore not strictly applicable in the case of gaseous conduction.

11) Electricity can only be discharged through a given stratum of air, from one point to another, after a certain electric tension takes place in these points. This tension depends upon the chemical constitution of the gas, and, the gas being the same, it is nearly in the ratio of its density and the distance of the two points. The quantity of electricity required to produce that degree of tension which must precede the electric discharge through our spectral tubes, enclosing gas of a given density, may be indefinitely increased by interposing a Leyden jar. The less the distance between the coatings of the jar, and the larger their surface, the greater quantities of electricity will be accumulated on them, ready for discharge at the moment when the electric tension of the electrodes entering our tube reaches that intensity which alone allows the discharge to take place. Thus the Leyden jar is the most proper and most easy means for shortening the duration of the discharge, and consequently increasing the temperature of the gas.

In several cases, especially if a vapour like that of mercury be examined, which isolates less, it will be found more convenient, instead of replacing the Leyden jar by a larger one, to increase the charge of the same jar by intercalating into the circuit a spark micrometer, by means of which you may add to the resistance within the spectral tube the resistance of any stratum of air.

12) The leading idea by which one of us was guided when he first (1857) directed his attention to spectral analysis, was to concentrate the light in Geissler's tubes by confining the electric current within a capillary channel.*) The construction of our tubes immediately follows from it. Accordingly we gave, for different purposes, a different diameter to their capillary part. The length of this part is of very little influence if the tubes are very highly exhausted; we had to shorten our recent tubes, intended to enclose gases and vapours of a greater density, rendered luminous by a powerful induction coil.

---

*) Plücker: „Spectra der elektrischen Lichtströmungen", 30. März 1858, Poggendorff's Annalen, vol. 104 [Abh. 32, S. 502.]; „Ueber die Spectra der verschiedenen Gase, wenn durch dieselben bei starker Verdünnung die elektrische Entladung hindurchgeht", 25. Aug. 1858, Ibid. vol. 105 [Abh. 34]; „Ueber die Constitution der elektrischen Spectra von verschiedenen Gasen und Dämpfen", 5. Mai 1859, Ibid. vol. 107 [Abh. 36.]

13) We employed in our researches the large spectral apparatus constructed by M. Steinheil. The refracting angle of one of the four flint prisms belonging to the apparatus is 60°, the angle of the three others 45°. Generally we made use of only two prisms (of 60° and 45°), and of a magnifying power of only 18.

It is well known that the slit of the apparatus, if illuminated by sodium-light (by the flame of alcohol containing common salt), is seen double. According to the width of the slit and the dispersive power of the prisms, the two well-defined images, having both the breadth of the slit as observed without the interposed prisms, are either superposed, or touch one another, or are separated by a black space. In making use of the two prisms, we generally regulated the aperture of the slit so that the two small sodium-bands appeared separated by a black space having nearly the breadth of these bands. In this case the angle at which the aperture of the slit is seen is equal to half the angular distance of the two middle lines of the bands, and therefore equal to half the angular distance of the two sodium-bands themselves after being reduced by narrowing the slit to mathematical lines.

If the images touch each other, the aperture of the slit and the two sodium-lines are seen at the same angle.

14) The first fact which we discovered in operating with our tubes, guided by the above explained principles, was the following one:

There is a certain number of elementary substances, which, when differently heated, furnish two kinds of spectra of quite a different character, not having any line or any band in common.

The fact is important, as well with regard to theoretical conceptions as to practical applications — the more so as the passage from one kind of spectra to the other is by no means a continuous one, but takes place abruptly. By regulating the temperature you may repeat the two spectra in any succession *ad libitum.*

We will now treat more explicitly the case of *Nitrogen*, which first unfolded to us its different spectra. These spectra, obtained in the easiest and most striking way, have been examined by us in every point of view. The other cases of double spectra may hereafter be spoken of in a more summary manner.

15) We examined nitrogen prepared in different ways, even in the state of greatest purity; but we found that, in order to get pure spectra of it, it was not necessary to free the gas from all traces of air.*) Therefore we may select the following preparation, imperfect

*) Whatever may be, under certain conditions, the practical importance of

as it is, in order to give an instance of constructing nitrogen-tubes. Three absorbing apparatus were connected with one another and, by means of a stopcock, with the exhauster, the first two being filled with a solution of pyrogallic acid in hydrate of potash, and the third with concentrated sulphuric acid. After having evacuated the interior of the exhauster and the spectral tube connected with it, by carefully turning the stopcock air was very slowly admitted, leaving its oxygen and carbonic acid to the first two, and its aqueous vapour to the third absorbing apparatus. Thus by and by the exhauster, with the tube, was filled with nitrogen, the manometer always indicating the tension of the gas. These operations being repeated several times by alternately evacuating and introducing new nitrogen, finally, the tension of the gas (measured by means of the manometer) being from 40 millims. to 80 millims., the spectral tube was melted off and hermetically sealed.

16) When we send through our nitrogen-tube the direct discharge of Ruhmkorff's large induction coil, without making use of the Leyden jar, we observe a beautiful richly coloured spectrum. [Taf. VI.] This spectrum is not a continuous one, but divided into bands, the character of which differs essentially at its two extremities; its middle part is in most cases less distinctly traced. Towards the more refracted part of the spectrum, the bands, illuminated by the purest blue or violet light, present a channeled appearance.*) This effect is produced by a shading, the intensity of which decreases from the more to the less refracted part of each band. On applying four prisms instead of two, we perceive a small bright line, forming an interstice

prismatic analysis in detecting certain substances converted into vapour, whatever may be its use in indicating traces of a single gas imperceptible by other means, mixtures of permanent gases are not fitted to be examined by the prism. A gas, if mixed in rather small proportion with another one, entirely escapes observation. The proportion necessary to render it visible depends upon the nature of the gas as well as upon the temperature of ignition.

*) Under favourable conditions such a band appears furrowed semicircularly; but psychological effects of this description may be quite different: partly by our own will, partly by exterior circumstances, the bands may be seen convex as well as concave. Even the engraving of the bands (Taf. VI.) shows it. Let it be illuminated by daylight through a window, you will see the bands concave if their more refracted and shaded part be directed towards the window; if in the opposite direction, the bands will appear convex. The shade passes from one side to the other if really concave and convex bands are replaced by one another; so it does if the illuminating light pass to the opposite side. Accordingly, the stereoscopic appearance depending upon the direction from which the light comes, the mind passes judgment on it *unconsciously*.

between two neighbouring channels, and the shading is, by the telescope of the spectral apparatus, resolved into dark lines. The number of such dark lines of one of the brightest bands (of the eighth band, we always count from the red to the violet) was found to be thirty-four, or nearly so. Their mutual distance is nearly the same, but their darkness decreases towards the least-refracted limit of each channeled band. Hence we concluded, the breadth of the band having been measured, that the angular distance of two contiguous shading-lines was nearly equal to the distance of the two sodium-lines. The breadth of the channeled bands varies, but the character of all is absolutely the same; only if foreign bright lines like those of hydrogen are simultaneously seen, it becomes slightly disturbed. We may distinguish seventeen bands of this description; the first three are smaller ones, the fourth is traversed by H_β, the eleventh by H_γ.*) At the violet extremity the light is very faint.

17) The bands of the less refracted part of the spectrum are all of nearly the same breadth, but smaller than those just described, and of quite a different appearance. Making use of only a single prism, and of a small magnifying power, we count eighteen such bands, starting from the extreme red and extending to the greenish yellow, where they are bounded by a dark space. H_α falls within the fourth, and the double sodium-line (Na) within the fourteenth of these bands. Under favourable circumstances, both extremities of the spectrum being equally developed, these bands extend to the channeled part, their number rising to thirty-five. All have the same general character, but not the same brightness. From the extreme red the intensity of light increases to the eighth band; over the ninth, tenth, and eleventh, especially over the two last, a shadow is spread, which gives to the red a rather brownish tint. The next seven bands are of a fine orange and yellow colour. The nineteenth and twentieth bands are very dark, the twenty-first is less dark. The following bands have a green colour, varying in brightness. The darkest are the twenty-eighth and twenty-ninth, succeeding the lightest ones.

The cause producing these bands and their shading by dark transverse lines is evidently not the same as that which produces the shadow overspreading some of them. This may be concluded, for instance, from the fact that the shadow which darkens the nineteenth and twentieth bands, without entirely destroying their limits, spreads at

*) We denote by H_α, H_β, and H_γ the three bright lines of the spectrum of hydrogen (the red, the bluish green, and the violet one. See 57).

the same time over the neighbouring third part of the preceding eighteenth band.

18) When the light sent out from the incandescent nitrogen within the capillary tube is dispersed by means of four prisms, the shading of the less refracted bands also is resolved into dark narrow lines; but these lines are smaller than the similar lines of the more refracted bands, and their distribution quite different. If the dispersion increase, in each band we at first perceive a new dark limit; but the design becoming gradually more defined, we observe in each band extremely delicate bright lines bounded by a shadow or by dark lines.

By closer examination of a band we distinguish first a least-refracted small part, occupying about the seventh part of the whole, formed by two bright lines including a somewhat larger dark space. The first of these two bright lines touches the dark extremity of the preceding band; the second is bounded by a subtle dark line, to which succeeds a third bright line, smaller than the two first. A fourth bright line divides the whole band into two parts, one less refracted, comprising the small one just described, the other more refracted and larger — the breadth of the two parts being about in the ratio of 4 : 5. Starting from the bright middle line, a feeble shading is produced by a number of most subtle dark lines, the darkness of which decreases towards the least-refracted part. Similar but darker lines produce the stronger shading of the larger more refracted part, decreasing in the same direction from the extremity of the whole band towards its bright middle line. The stereoscopic effect produced by the shading of the bands is represented by the diagram (Taf. VI., A, B).

The configuration of all the bright orange and yellow bands is exactly the same; it is rather obscured in the case of the preceding bands by the shadow spreading over them, but becomes the same again in the bright red ones. Even in the dark bands 19 to 21, traces of the design are to be seen. The appearance of the green bands, though the general character be the same, slightly differs; the shading in the middle part of them being increased, they rather seem to be divided into two.

The accordance of these bands, even to the minute detail of their configuration, is a fact worthy of attention.

19) The character of the two systems of bands on the extremities of the spectrum is entirely stereotype; all apparent changes result from the different intensity of light. The middle part of the spectrum, on the contrary, may much differ from that which we have described; you may even say that this part varies more or less essentially on

replacing one spectral tube enclosing nitrogen by any other. Sometimes the traces of the less refracted bands are seen far beyond H_β, spreading over the channeled part of the spectrum; in other cases the channeled appearance goes in the opposite direction as far as the sodium-line, disturbing the character of the bands.

20) Now, instead of the direct discharge of Ruhmkorff's large induction coil, let us send through the very same spectral tubes the discharge of the interposed Leyden jar. The spectrum then obtained (Taf. VII.) has not the least resemblance to the former one. The variously shaded bands which we have hitherto described are replaced by brilliant lines on a more or less dark ground. Neither the distribution of these new lines nor their relative brightness gives any indication whatever of a law. Nevertheless the place occupied by each of them remains under all circumstances invariably the same. If exactly determined, not only does each line undoubtedly announce the gas within the tube, but the gas may even, without measuring, be recognized at first sight by characteristic groups into which the lines are collected.

21) The new spectrum of nitrogen extends towards the red slightly beyond the hydrogen-line H_α, which if the gas be not dried with care will be seen simultaneously, enclosed by two red nitrogen-lines, the less refracted of which is twice as distant as the more refracted. There are in the spectrum five groups of brilliant lines especially remarkable. The orange group, slightly less refracted than *Na*, is formed by four lines, the second of which is the brightest; the third, not quite so bright, is closely followed by the fourth, which is very faint. The second (yellow) group contains seven lines, among which the fifth is brightest. The third (light-green) and the fourth (dark-green) group contain each nine lines. The third and sixth lines of the light-green group and the sixth and seventh (both near to each other) of the dark-green group are brightest. The fifth (light-blue) group (the distance of its middle part from H_β and H_γ is about in the ratio of $3:4$) is formed by six lines, the second of which is the brightest, the first slightly less bright; the last four lines, nearly equally distant from each other, are slightly less bright again. Two groups, of three fainter lines each, fall between the two green groups and between the dark-green and the blue. We may mention also two bright single lines, placed out of the groups — a green line preceding an expanded one, and a light-violet line followed at a short distance by a bright band. Besides, there are in the spectrum more or less faint bands or expanded lines extending beyond H_γ nearly as far as

the distance between this line and H_β, *i. e.* about to Fraunhofer's line H.

22) We may denote the orange, yellow, light-green, dark-green, and blue groups by I, II, III, IV, and V, and the single lines of them by the arabic numbers, the place they occupy in each group being reckoned from the less to the more refracted. Thus by adding the chemical symbol of the gas we get a general method of denomination, according to which *N* II 5, *N* IV 6, *N* IV 7, and *N* V 2, for instance, indicate the brightest lines of the groups of the nitrogen-spectrum.

23) Not only is the general character of the two kinds of spectra we obtained when nitrogen was heated in our tubes, either by the direct discharge or by the discharge of the interposed Leyden jar, quite different, but the difference is even so great that the bright lines of one of the spectra do not in the least fall within the brighter part of the bands constituting the other. Thus, for instance, the bright yellow line (*N* II 5) falls within the nineteenth band, the darkest of all the bands constituting the less refracted part of the spectrum; the bright blue line (*N* V 2) falls into the darker part of one of the channeled spaces. Accordingly it appears by no means probable that by increasing the temperature the shaded bands of one spectrum may be transformed gradually into the bright lines of the other; nevertheless it would be desirable to prove by experiment that the passage from one spectrum to another is a discontinuous and abrupt one.

24) For a given nitrogen-tube which without the Leyden jar gives the spectrum of bands, and by means of the commonly used jar the spectrum of bright lines, you may easily select a jar of smaller covering, which, if intercalated, exhibits the curious phenomenon of two rival spectra disputing existence with each other. Sometimes one of the spectra, sometimes the other appears; and for moments both are seen simultaneously. Especially the brighter lines of the second spectrum abruptly appear in the blue and violet channeled spaces of the first, and, according to the fluctuation of the induced current, either suddenly disappear again or subsist for some time, and constitute with the added fainter lines the second spectrum.

We obtain in an easier and a continuous way both spectra simultaneously by making use of a small Leyden jar, and increasing its charge by an intercalated stratum of air, the thickness of which increases till the bright lines appear within the bands of the primitive spectrum.

25) By these and other experiments it is evidently proved that ignited nitrogen shows two quite distinct spectra. Each bright line

of one of these spectra, each of the most subtle lines into which, by means of the telescope, the bands of the other are resolved, finally depends upon the molecular condition of the ignited gas, and the corresponding modification of the vibrating ether within it. Certainly, in the present state of science, we have not the least indication of the connexion of the molecular constitution of the gas with the kind of light emitted by it; but we may assert with confident that, if one spectrum of a given gas be replaced by quite a different one, there must be an analogous change of the constitution of the ether, indicating a new arrangement of the gaseous molecules. Consequently we must admit either a chemical decomposition or an allotropic state of the gas. Conclusions derived from the whole series of our researches led us finally to reject the first alternative and to adopt the other.

26) The same spectral tube exhibits, in any succession whatever, as often as you like, each of the two spectra. You may show it in the most striking way by effecting the intercalation of the Leyden jar by means of a copper wire immersed in mercury. As often as the wire is taken out of the mercury we shall have the spectrum of bands; as soon as the communication is restored, the spectrum of bright lines. Hence we conclude that the change of the molecular condition of nitrogen which takes place, if the gas be heated beyond a certain temperature by a stronger current, does not permanently alter its chemical and physical properties, but that the gas, if cooled below the same limit of temperature, returns again to its former condition.

27) The essentially different character of the two extremities of the first spectrum of nitrogen, as described (16—19), and the indistinctness of its middle part suggested to us the idea that, in reality, the observed spectrum might originate from the superposition of two single spectra. Accordingly one of these single spectra, the more refracted part of which is best developed, must be formed by channeled spaces; the other one, the less refracted part of which is best developed, must be a spectrum of shaded bands. In different cases, either the one or the other of the spectra may be predominant.

In order to confirm our conjecture it was necessary to get the two spectra separated.

28) The discharge of Ruhmkorff's coil through a spectral tube is changed the less by introducing the Leyden jar, the weaker is the resistance opposed to it by the tube. Accordingly the two different degrees of temperature to which the gas rises by the discharge when, the coil remaining the same, we either make use of the jar or not,

may be regulated in such a way as to approach one another more and more. Let the tension of the gas of about 10 millims. remain the same, the temperature produced by the discharge will be diminished by increasing the interior diameter of the capillary part of the spectral tube. Thus we succeeded in constructing a tube which, when the direct discharge was sent through it, became incandescent with the most brilliant gold-coloured light, which might easily be confounded with the light of highly ignited vapours of sodium; but with the intercalated jar, the light of the incandescent gas within the same tube had a fine bluish-violet colour. The yellow light, when analyzed by the prism, gave a beautiful spectrum of shaded bands, extending with decreasing intensity to the blue, the channeled spaces being scarcely perceptible. The bluish light, when examined, was resolved by the prism into channeled spaces extending towards the red, while the former bands almost entirely disappeared. We may transform each colour and its corresponding spectrum into the other *ad libitum*.

Hence it follows that there is another allotropy of nitrogen, which, like the former, is not a stable and permanent one, but depends only upon temperature. The modification in which nitrogen becomes yellow corresponds to the lower, the modification in which it becomes blue to the higher temperature.

29) When we send the direct discharge of Ruhmkorff's coil through one of Geissler's wider tubes enclosing very rarefied nitrogen or air (the oxygen of air becomes not visible here), we see the negative pole surrounded by blue light, the light at the positive pole being reddish yellow. In such of Geissler's tubes as are especially calculated to show how the light starting in all directions from the different points of the negative electrode is by the action of an electromagnet concentrated along the magnetic curves passing through these points, the blue light is most beautiful. It belongs generally to the nitrogen alone, which, on account of the greater resistance at the negative electrode opposed to the discharge, reaches a higher intensity of heat there than at the positive pole. When analyzed by the prism, the blue light gives the spectrum of channeled spaces, with traces only of the less refracted bands. The reddish-yellow light of the positive pole is more faint, and therefore not so easily to be submitted to spectral analysis.

30) When Ruhmkorff's large induction coil is discharged in common air between two points the distance of which does not exceed a few centimetres, we obtain, as is well known, a brilliant spark surrounded by an aureola, the colour of which is partly bluish violet,

partly reddish yellow. In order to separate these colours more distinctly from each other, the aureola, moved by the slightest breath, may be extended into a large surface by blowing it sideways. But the separation may be best made when the discharge takes place between the two poles of an electro-magnet in the equatorial direction. While the straight spark is not acted upon by the electro-magnet to any sensible degree, the aureola is expanded, into a fine surface, bounded by the spark starting from one to the other extremity of the electrodes, and by a semicircle passing through these extremities. At a certain rarefaction of air this surface appeared most beautifully bounded by a semicircular golden-coloured band, and divided by a similar band into two parts.*) We may explain now in a satisfactory way the appearance, hitherto mysterious, of the golden light. Both the yellow and the blue light are owing to the nitrogen of the air, reduced by the heat of the current into the two allotropic states which exhibit the spectra of channeled spaces and of bands. The brilliant white light of the spark partly belongs to the oxygen, partly to the nitrogen of the air, both highly ignited, the nitrogen being in that allotropic state in which it exhibits the spectrum of bright lines.

31) In order to complete the history of the spectrum of nitrogen we add two remarks. First, by intercalating a Leyden jar and, in order to weaken the current, at the same time a stratum of water or a wet thread, we may also reduce the spectrum of bright lines to the spectrum of bands. Secondly, by increasing the density of the gas, or, if the gas be less dense, by intercalating at the same time a large jar and a stratum of air, the bright lines of the spectrum, at the highest obtainable temperature, will expand. Out of a great number of observations made in this direction we shall describe only one.

32) A short spectral tube enclosing nitrogen of a tension of about 250 millims. refused passage to the discharge of Ruhmkorff's large induction coil, when three of Grove's elements were made use of, and the jar intercalated. Without the jar the discharge passed through and produced a bright but rather undefined spectrum of bands. When the current continued to pass, the indistinctness of the spectrum increased, and after short intervals brilliant coloured lines appeared and disappeared again, like lightning-flashes. These lines, occupying always the same place, belonged to the second spectrum of

*) Plücker: „Ueber die Einwirkung des Magneten auf die elektrische Entladung", Poggendorff's Annalen, vol. 113 p. 267. [Abh. 38.]

nitrogen, the brightest yellow and green lines of which (N II 5, N IV 6, N IV 7) were specially observed. When we made use of twelve of Grove's elements ranged into three sets of four combined ones, the current even passed after we interposed the jar, and we got a most dazzling second spectrum of the gas. The bright lines of this spectrum, rising from a ground itself brighter than it usually is, ceased at an increased brilliancy to be well defined. The two brilliant green lines both expanded, and were united into a single broad line; the double yellow lines, though expanded, yet remained double. *The spectrum was progressing towards a continuous one.*

33) In recapitulating, we get the following results:

Nitrogen in the state of greatest rarefaction, such as may be obtained by Geissler's exhauster, like other gases does not allow the induction current to pass through. But when its tension is only a small fraction of a millimetre, the current begins to pass and renders the gas luminous. Below a certain limit of temperature ignited nitrogen sends out a golden-coloured light, giving the spectrum of bands. Above this limit the colour of the light is replaced by a bluish violet, the spectrum of channeled spaces replacing simultaneously the spectrum of bands. When, by means of the intercalated jar for instance, the temperature rises to a second higher limit, the light of the gas, becoming white and most brilliant, gives, if analyzed by the prism, a spectrum of quite a different description: bright lines of different intensity, with the colour indicated by the place they occupy, rise from a dark ground. By increasing the power of the discharge these lines become more brilliant, but the brilliancy does not increase in the same ratio for them all. New bright lines appear, which formerly, on account of their extreme faintness, were not visible; but the number of such lines is not unlimited. By increasing the heat of the ignited nitrogen to the last extremity, the lines, especially the brighter ones, gradually expand, approaching thus to a continuous spectrum.

34) Those spectra, which are composed of larger bands showing various appearances *according to their being differently shaded by subtle dark lines*, we generally call *spectra of the first order*. In the same spectrum the character of the bands is to a certain extent the same, the breadth of the bands varies in a more or less regular way. On the contrary, those spectra in which brilliant coloured lines rise from a more or less dark ground, we call *spectra of the second order.*

Ignited nitrogen therefore exhibits, if its temperature increase, successively two spectra of the first and one of the second order.

35) In the case of *sulphur*, which we may select as another in-

stance, there are two different spectra, one of the first and one of the second order.

In common air the flame of sulphur gives a continuous spectrum; if fed with oxygen we get a spectrum of the first order, but it is faint and its bands are not well defined. In order to get the sulphur-spectrum most perfect, we must recur to our spectral tubes.

A doubly bent short tube (6), into which we introduced a small quantity of sulphur, was evacuated by means of Geissler's exhauster, and while attached to it heated by a lamp, in order to expel as much as possible the moisture it contained. Finally, the manometer showing no more tension of the remaining gas, the tube was hermetically sealed by a blowpipe. The direct charge of Ruhmkorff's large induction coil sent through it, generally indicates by their spectra traces of remaining foreign substances (8). But when the tube was heated by a small alcohol-lamp, at a certain moment a fine sulphur-spectrum of the first order appeared [cf. Taf. VI.], undisturbed by any former spectrum. The beauty of the spectrum increased when we continued to heat moderately.

36) We counted thirty-seven well-defined bands, extending nearly from H_α to H_γ. Seven of these bands, the first of which was of a dark-red colour and visible only under favourable circumstances, preceded the sodium-line, eighteen fell between this line and H_β, and eleven between H_β and H_γ, the last of which being broader, appeared sometimes divided into two. After a last band, traversed by H_γ, a larger and strongly shaded space extended towards the extreme violet. The breadth of the bands increased from the less to the more refracted part of the spectrum. In each band, contrary to what takes place in the case of nitrogen, namely, with regard to its channeled spectrum, the shading produced by fine dark lines decreases from the less to the more refracted extremity. The darkest part of the shadow is bounded by a small separate band of a varied appearance, generally formed by two small bright lines including a somewhat larger dark one. By these small bands the purely channeled character of the spectrum is disturbed.

37) If, while the discharge is passing, we continue to heat the tube by a lamp, the brightness of the spectrum always increases; but if we approached to a certain degree of temperature, in different parts of the spectrum we have described, bright-coloured lines belonging to the sulphur-spectrum of the second order appeared and disappeared again according to the fluctuating heat, till at last the second of the two rival spectra remained undisturbed. The colour of the light was

changed. In cooling again after the lamp was taken off, the light within the tube changed its colour again, while the spectrum of the second order was replaced by the spectrum of the first order.

There is a certain elevation of temperature at which the increased density of the vapour does not permit the discharge to pass; the light within the tube is extinguished, but abruptly reappears after cooling.

38) Well-defined bright lines, constituting a fine sulphur-spectrum of the second order [Taf. VII.], are obtained if moderate discharges of Ruhmkorff's large induction coil are sent through the tube, the tube being slightly heated by means of an alcohol-lamp, and a small Leyden jar being intercalated. At first the spectrum extends only from about the sodium-line to H_β. One observes chiefly a characteristic group of sixteen lines, followed at some distance by two separate lines. The spectrum once developed persists even after taking off the lamp. When we continue to heat, the brightness of the group increases and its lines begin to expand, while at the same time the hitherto black ground is coloured. The brilliancy may be increased to such an extent as to be unbearable to the eye. Beyond the sodium-line, towards the red extremity, new distinct lines appear, among which we particularly distinguish a triple line, remarkable as well for its fine red colour as for its distinctness, and nearer to H_α a second such triple line, at first well defined but soon merging into a single one. Like the less refracted part of the spectrum, the most refracted part is developed only at a higher ignition of the vapour of the sulphur. At its violet extremity (we do not give here a full description of the middle part) we observe at the same distance from one another five well-defined fainter bright lines. Then follows, after an expanded violet band, a group of four bright lines, the second of which is accompanied by a more refracted, the fourth by a less refracted faint line. The fourth line especially is distinct to a degree seldom observed at so high a refraction and so great a power of the discharge. After two bands of faint light, there is seen at the end of the spectrum a group of four slightly expanded bright lines, preceded by an expanded violet band.

39) Like sulphur, selenium has two spectra — one of the first, another of the second order [Taf. VII.].

40) Ignited carbon, even in a state of greatest division, gives a continuous spectrum.

41) We select, among the various compound gases which, if decomposed in flame, give the spectrum of carbon, in the first place

cyanogen. The gas was procured by heating cyanide of mercury introduced into a retort of glass by means of a lamp. The flame of it may be fed either with oxygen or with air.

When a jet of cyanogen mixed with oxygen is kindled, in the interior part of the flame a most brilliant cone of a whitish-violet light is seen, the limit between the ignited and the cold part of the jet. This cone exhibiting the spectrum of vapour of carbon best developed, we conclude that the cyanogen must be decomposed into carbon and nitrogen, the carbon being in the gaseous condition a moment before its combination with oxygen takes place.*)

42) In order to prevent explosion of the mixture of cyanogen and oxygen, it is preferable that the jets of the two gases meet from opposite sides before the slit of the spectral apparatus, forming there, if kindled, a brilliant, flat, vertical surface. The jet of cyanogen might be obtained directly from the retort, by the heating of which it may be regulated. Thus we get, all being properly arranged, a splendid and richly coloured spectrum [Taf. VI, C I]. Especially we distinguish *eight groups of bright lines,* which, being all of the same general character, indicate at first sight the existence of vapour of carbon. We shall denote these groups, starting from the less refracted and proceeding to the more refracted ones, by *a, b, c, d, e, f, g, h.* The group *a* is formed by five, *b* by six, *c* by four, *d* by five, *e* by seven, *f* by three, *g* by seven, and *h* by three bright lines. But these lines, of a measurable breadth and a quite different appearance, are not to be confounded with the bright lines which, in the case of nitrogen and sulphur, for instance, constitute spectra of the second order. In each group the first line is the brightest; the following, which are nearer to one another, decrease in intensity, and under less favourable circumstances the last ones are not seen. Hence the groups, according to an expression of Mr. Attfield, have the appearance of a portico. The red group (*a*) is not always seen distinctly (less distinctly in the present case than in the case of other gaseous compounds of carbon); the group *f* is very faint, the group *g* beautifully violet, *h* rather ultraviolet.

43) The whole spectrum, except its red extremity, is divided into large shaded fields. The shadow increases from the less to the more refracted part of each field; from its brighter less refracted part arise

---

*) Mr. Attfield has the merit of having first stated that spectra hitherto attributed to compound gaseous substances are to be referred to the vapour of carbon itself (Philosophical Transactions for 1862, p. 221).

the bright lines of one group, the first of these lines towards the darkest extremity of the preceding field. As well as in the former cases of nitrogen and sulphur, the shadow is produced by dark transversal lines on a coloured ground. But here the distance of the shading-lines from each other varies even in the same field. Towards the bright, *i. e.* the less refracted extremity of each field, the distance decreases, while at the same time the darkness and the breadth of the lines is diminished. The space between two consecutive lines appeared to be greatest in the field containing the group *c*, at a distance from *d* about twice as great as that from *c*. There we counted, on making use of two prisms and applying a magnifying-power of eighteen, the aperture of the slit being regulated in the ordinary way (13), nine shading-lines, including eight nearly equal small bands, the total breadth of which corresponded to five divisions of our arbitrary scale. Hence we computed the angular distance of two consecutive dark lines which we observed to be about five-fourths of the distance of the sodium-lines.

The dark shading-lines also appear within the bands bounded by the lines of the brighter characteristic groups. The band between the second and the third bright line of the yellow group *b*, the total breadth of which corresponds to four divisions of our arbitrary scale, was divided by dark lines into twelve smaller bands of about equal breadth. Accordingly the angular distance of two such consecutive lines is about two-thirds of the distance of the two sodium-lines. The dark lines within the neighbouring band, bounded by the first and second bright line of the same group, were much nearer to one another, and their number too great to be counted with certainty.

44) Between the groups *f* and *g* there is indicated a particular distribution of light and shadow, which, being a faint copy of what takes place if olefiant gas be burned instead of cyanogen, will be better understood after we have described the spectrum of the new gas.

45) The least-refracted part of the spectrum, preceding the first line of the group *a*, essentially differs from the more refracted part already described. There are three fine red bands contiguous to the first bright line of the group, extending nearly to H_α, and beyond this hydrogen-line, after a dark space, two similar but not so well-defined bands. The breadth of these bands is nearly the same, and all are shaded in a similar way. Contrary to the distribution of shadow in the larger field, the shadow is strongest in the less refracted part of each band; in the most refracted part we observed two bright lines.

46) When the combustion of cyanogen took place in air, the bands we have just described were best developed, and new similar

ones added. They extended from beyond H_α nearly to H_β. The breadth of these bands slightly increases towards the violet end of the spectrum, their general description remaining the same. We especially counted seven such bands, the first of which is traversed by the double sodium-line, and the last is bounded at the place formerly occupied by the second bright line of the characteristic group *c*.

When the flame of cyanogen is fed by air, we observe under favourable circumstances no traces of the groups *a* and *b*, the least refracted bright line of the group *c* faintly appears, *d* is scarcely indicated, but the groups *e*, *f*, *g* are fully developed, especially the last one, of a fine violet colour.

46) In supplying the flame of cyanogen by air increasingly mixed with oxygen, we distinctly see two spectra overlying one another. One of these spectra (the spectrum of bands) giving way step by step to the other, the appearance is continually changed. The red bands only remained undisturbed, they became even more distinct by the increased intensity of the combustion. The adjacent group *a* is scarcely developed, evidently on account of an imperfect extinction of the overlying bands.

The superposition of the two spectra introduces new details into the general configuration of the resulting spectrum. Thus, for instance, at a certain intensity of combustion the interval between the first and second bright line of the group *b* is divided by four fine bright lines into five spaces, the breadth of which decreases towards the violet part of the spectrum. Thus also in the large field containing the group *c*, the influence of the spectrum of bands is rendered sensible by a particular distribution of shadow.

47) Secondly, we submitted to a closer examination *olefiant gas*, C^2H^4, when burned either with oxygen or with air. We operated as we did in the former case of cyanogen; only the gas, prepared by heating a mixture of alcohol and sulphuric acid, was previously introduced into a gasometer.

The luminous cone which exhibits the spectrum of vapour of carbon is of a fine blue colour, especially if the flame is fed by oxygen.

48) In the spectrum thus obtained the characteristic groups *a*, *b*, *c*, and *d* appeared on a shaded ground. All these groups, especially the red one *a*, scarcely seen in the spectrum obtained by the combustion of cyanogen, are finely developed. The last line of *b* and *d* is slightly expanded; but there is no trace whatever either of the bands of the spectrum of cyanogen, if burned in common air, or even of the groups *e* and *g*. Instead of these groups there is quite a new con-

figuration. [Taf. VI, C IV.] Equally distant from the place which the groups occupied in the former spectrum, a small well-defined black band was seen, bounded on the more refracted side by a violet space, which, being of great brilliancy where it touches the band, was shaded gradually till the spectrum, not extending beyond the place of the group *g*, was extinguished. This violet space is traversed by well-defined dark lines, equally distant from each other, but more apart than the shading lines we described in former cases. The black band is bounded on its less refracted side by a bright line, having the breadth of the lines of the characteristic groups, which at a certain distance was preceded by a more diffused violet light, traversed, like the brilliant one on the opposite side, by dark but less distinct lines. Here also the faint group *f* appeared.

The distribution of light and shade producing the configuration just described is seen also, distinctly but faintly, in the spectrum we obtained by the combustion of cyanogen with oxygen, where at the same time the groups *e* and *g* are beautifully expressed (44).

49) Among the gases exhibiting the spectrum of vapour of carbon, when enclosed in our spectral tubes and decomposed by the heat of the discharge of Ruhmkorff's coil, we first select *oxide of carbon*. In operating with this gas as we did with nitrogen, we got, if the Leyden jar was intercalated, simultaneously the spectrum of vapour of carbon and the spectrum of oxygen; without the jar, the pure spectrum of vapour of carbon. In the last case the heat of the discharge is high enough to ignite vapour of carbon, but not sufficient to give the spectrum of oxygen. The single spectrum, as well as the combined one, is obtained accordingly *ad libitum;* whence we conclude that as the successive discharges pass through the spectral tube, the gas is alternately decomposed and recomposed again.

50) We shall in a few words describe the spectrum obtained without the jar, at a tension of the gas, when observed by means of the manometer before the spectral tube was sealed, of 32 millims. [Taf. VI, C II.]

Four characteristic groups only were seen, *a*, *b*, *c*, and *d*. When the current first passed, the band *a* appeared completely; after some time its two first lines only remained, rising as isolated bright lines from a dark ground; finally all the group disappeared. The groups *b*, *c*, and *d* remained nearly unchanged; there appeared only two bright lines of *c*, the place corresponding to the two following ones being very brilliant.

The whole spectrum was divided into large fields, similar to the

fields we described in the case of the flame of cyanogen fed with oxygen. But in this case each field is bounded at its more refracted and shaded extremity by the first bright line of a characteristic group; the following lines, bordered by shading, rise from the lightest part of the adjacent field. In the new instance the fields are not bounded in the same way. After the group *a* has disappeared, there is a differently shaded dark space, extending to the place of the third bright line of that group. In the remaining part of the spectrum we may distinguish seven shaded fields. The first goes a little beyond the first bright line of the group *b*, where it is bounded by a transversal line, dividing the band formed by the first two lines of the group into a dark less refracted and a light more refracted part. Accordingly the first bright line rises from the dark end of the first field, the remaining lines from the light end of the second field. The second field does not reach the first bright line of the following group *c*, this line being nearly equally distant from the extremity of the field and the next line of the same group. The third field goes slightly beyond H_β; the fourth to the first line of the group *d*; the fifth nearly to the place occupied by the fifth line of the group *e*; the sixth approaches the place of the group *f*; and the seventh extends to the fourth line of the group *g*. The fourth and sixth fields presented the appearance of pure channeled spaces, as described in the case of nitrogen.

51) If the heating-power of the discharge be too strong, spectral tubes enclosing oxide of carbon at a higher tension showed only three large shaded fields, without any traces of the characteristic groups. The first two of these fields are coincident with the second and third of the former fields; the third occupies the place of the fourth and fifth former fields united into one. Here the shading of the three large fields not being disturbed by any additional appearance, the transversal shading lines were observed most distinctly even in making use of four prisms and employing a magnifying power of 36. In observing especially the light and less refracted part of the first field close to its extremity, these lines, on account of their extreme subtleness, are scarcely to be perceived; when they begin to become well defined they are very near to each other; but towards the more refracted part of the field their distance increases simultaneously with their breadth, till, at some distance from the bright extremity, the dark expanded lines are resolved into small shaded bands.*) [Taf. VI, C III.]

*) The same spectrum, but fainter, is obtained under quite different conditions. We have already noticed, in the introductory remarks, that in a spec-

52) Spectral tubes containing *carbonic acid* instead of oxide of carbon gave essentially the same spectra. The increased quantity of oxygen of the decomposed gas may be observed by means of the interposed jar. In such tubes there was no carbon deposited, not even after a long passage of the discharge.

53) All compound gases enclosed in our spectral tubes are decomposed by the heat produced by the discharge of Ruhmkorff's large induction coil; but instantly after the discharge passes, the recomposition takes place. The recomposition is prevented only by a sudden cooling of the elementary gases obtained by the decomposition. Thus, for instance, spectral tubes enclosing *cyanogen* are scarcely fitted for observation, the interior surface of their capillary part being instantaneously blackened by the deposited carbon. No carburetted hydrogen resists final decomposition by the passing current. We add only a few observations, made by means of spectral tubes.

54) The spectrum of the light hydrocarbon gas, CH^4, obtained without the Leyden jar, at once showed the expanded bright lines of hydrogen and an imperfect spectrum of vapour of carbon, especially the brightest lines of the characteristic groups *b*, *c*, and *d*. By intercalating the jar, the hydrogen-spectrum, approaching to a continuous one, became quite predominant.

Olefiant gas, C^2H^4, of a primitive tension of about 70 millims., gave, without the jar, a scarcely visible spectrum; by intercalating the jar, the three hydrogen-lines H_α, H_β, H_γ appeared well defined, and the spectrum of vapour of carbon, with its groups *a*, *b*, *c*, *d*, and its shaded large fields, well developed.

Methyl, CH^3, showed, without the jar, at once H_α, H_β, H_γ and the characteristic groups *e* and *g*; with the interposed jar these two groups disappeared, and were replaced by the groups *a*, *b*, *c*, and *d*.

Acetylene, C^2H^2, though according to Berthelot and Morren formed from its elements when Davy's charcoal light is produced within an atmosphere of hydrogen, when introduced into our tubes is nevertheless rapidly decomposed by the discharge, and most incompletely recomposed after the discharge has passed. The inside of the tubes is instantly blackened, and in the first moment only, along with the spectrum of hydrogen, we perceive the groups of carbon-lines seen in the case of olefiant gas.

---

tral tube evacuated to the last degree by Geissler's exhauster, vaporized carbon is indicated by its spectrum (8). The spectrum obtained is that described above.

55) Finally, Ruhmkorff's large induction coil was discharged between two electrodes of carbon, surrounded by an atmosphere of hydrogen. The four groups *a*, *b*, *c*, and *d* were obtained, constituting the spectrum of vaporized carbon.

56) In resuming, we are struck by the variety of appearances presented by ignited vapour of carbon when submitted to spectral analysis under different conditions. But, whatever may be this variety, it is impossible not to admit that all or nearly all of the various types of spectra we described are derived from the same source. We may distinguish four such types: 1st, the bands, especially seen when the flame of cyanogen is fed by air; 2ndly, the particular distribution of light and shadow near H_β when the flame of olefiant gas is fed by oxygen; 3rdly, the large fields shaded by transversal dark lines; 4thly, the characteristic groups of bright lines, *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, *g*, *h*, which are to be ranged into two different sets, *a*, *b*, *c*, *d*, and *e*, *f*, *g*, *h*. It is a curious fact that all these different types, either fully developed or indicated only, are represented in the flame of cyanogen, if fed with oxygen, while in all the other cases we examined there are represented either a single type or two types, or even three, — namely, 1, the third type alone; 2, the first type, with the second set of groups; 3, the third type, with one set of groups (*a*, *b*, *c*, *d*); 4, the same type, with the other set (*e*, *g*); 5, the second and third types, with the first set of groups. There is no doubt that the different types correspond to different degrees of temperature, — the temperature being lowest when the bands are principally developed, lower in the case of the second set of groups than in the case of the first, lower in the case of the shaded large fields than in the case where the characteristic groups appear simultaneously.

In the present state of the question we are not able fully to explain the various types of spectra of carbon. It is only proved that all spectra which we referred to carbonic vapour do not contain any bright line belonging to another elementary gas. Either the well-known spectra of foreign admixed gases, of nitrogen, oxygen, hydrogen, for instance, do not appear at all; or if they do, they may be subtracted from the whole apparent spectrum.

It appears doubtful that the different types depend *solely* upon temperature. If so, the temperature varying in the different parts of the ignited vapour of carbon, different types may be seen simultaneously. We shall not now discuss the influence which the coexistence of foreign gases might have on the spectra of vapour of carbon, nor may we here decide whether or not, in the lower temperature of the

flame, a gaseous compound of carbon, not being entirely decomposed, exhibits, with the spectrum of the vapour of carbon, simultaneously the spectrum of the undecomposed gas.

In the spectrum of cyanogen, for instance, we got no visible traces of the spectrum of nitrogen (originating from the decomposed gas), whether we supplied the flame by a jet of oxygen, or operated in open air; but in both cases there is no reason not to admit that the bands, which are not seen in the case of any other compound of carbon, were owing to the undecomposed cyanogen (see no. 61).

57) With regard to the spectrum of *hydrogen*, we first refer to former observations. The spectrum one of us obtained by sending the discharge of Ruhmkorff's small induction coil through one of his highly evacuated spectral tubes, constructed by M. Geissler, shows only three bright lines, which he denoted by H_α, H_β, and H_γ. The beautiful red light of the ignited rarefied gas, divided into these three bright lines, even after having passed through the four prisms of Steinheil's spectral apparatus, remains highly concentrated. At a magnifying power of 72, the three bright lines or small bands thus obtained are well defined. Their apparent breadth is equal to the breadth of the slit; consequently, on further narrowing the slit, they approach gradually to mathematical lines. Hence we conclude that, under the above-mentioned conditions, the length of wave of the light constituting each of the three hydrogen-lines is constant, and remains so if by widening the slit the lines are expanded into bands. In referring the middle lines of such bands to the middle line of the direct image of the slit, we obtain its angle of refraction. It was proposed to employ these middle lines instead of Fraunhofer's dark lines of the solar spectrum in determining the indices of refraction.*) This proceeding has since been proved to be very expedient.**)

58) Hydrogen permits the electric discharge to pass at a lower tension than other gases do. When Ruhmkorff's small induction coil was discharged through a spectral tube enclosing hydrogen, which was gradually rarefied to the highest tenuity to be reached by means of Geissler's exhauster, finally the beautiful red colour of the ignited gas became fainter, and passed gradually into an undetermined violet. When analyzed by the prism, H_α disappeared, while H_β, though fainter,

---

*) Poggendorff's Annalen, vol. 107, p. 497. [Abh. 36, S. 560.]

**) Landolt: „Ueber die Brechungsexponenten flüssiger homologer Verbindungen", Poggendorff's Annalen, vol. 117, p. 353.

remained well defined. Accordingly light of a greater length of wave was the first extinguished.*)

59) Hydrogen shows in the most striking way the expansion of its spectral lines, and their gradual transformation into a continuous spectrum. When the direct discharge of Ruhmkorff's large induction coil is sent even through the old spectrum tubes enclosing hydrogen, the formerly obtained spectrum is essentially altered. By increasing the power of the coil, the violet line H_γ first expands; while it continues to expand, the expansion of the bluish-green line H_β becomes visible. Let the aperture of the slit be regulated so that the double sodium-line will separate into two single lines nearly touching one another. Then, the angular breadth of H_β becoming two or three minutes, the breadth of H_γ is about double. The expansion takes place as well towards the less as towards the more refracted part of the spectrum. H_α remains almost unchanged after H_γ has passed into an undetermined large violet band, and H_β extended its decreasing light on its two sides. On employing the Leyden jar, and giving to the gas in our new tubes a tension of about 60 millims., the spectrum is already transformed into a continuous one, with a red line at one of its extremities. At a tension of 360 millims. the continuous spectrum is highly increased in intensity, while the red line H_α, expanded into a band, scarcely rises from it. If the electric spark passes through hydrogen at the ordinary tension, the ignited gas on its way always gives the spectrum of the three expanded lines.**)

---

*) Plücker: „Ueber recurrente Ströme und ihre Anwendung zur Darstellung von Gasspectren", Poggendorff's Annalen, vol. 116, p. 51. [Abh. 39, S. 654.]

**) After Fraunhofer, and especially Dr. Wheatstone, directed the attention of philosophers to the electric spectrum, Masson indicated the red hydrogen-line, but without referring in an explicit way to its origin. Ångström first separated the spectrum of gas from the spectra of metal. In the diagram he gave of the hydrogen-spectrum, he represented, by means of curves, the intensity of light along the whole length of the spectrum, especially the maxima of intensity within the red, the green, and the violet. These maxima correspond to H_α, H_β, H_γ, here expanded into bands, the breadth of which, as well as their decreasing intensity towards both ends, are indicated by the extension and steepness of the curves. After one of us published his first researches on the spectra of ignited gases, M. van der Willigen, in operating with strong induced currents, determined in a similar way the maxima of intensity of the hydrogen-spectrum.

The spectra thus obtained are not calculated to prove the connexion existing between the bright lines of ignited gases or vapours and Fraunhofer's dark lines of the solar spectrum. Starting, in his first communication made to the Royal Swedish Academy, 1853, from the theoretical conception „that the dark

Even in the old spectral tubes enclosing highly rarefied hydrogen, the ground, from which the three characteristic lines rise, did not appear always of the same darkness; in some instances new bright lines appeared, especially in the neighbourhood of the sodium-line. In resuming the subject, we pointed out the existence of a *new hydrogen-spectrum*, corresponding to a lower temperature, but having no resemblance at all to the spectra of the first order of nitrogen, sulphur, &c. In this spectrum, of a peculiar character, if fully developed, we observe a great number of well-defined bright lines, almost too numerous to count and represent by an engraving, but brilliant enough to be examined at a magnifying power of 72, after the light has passed through four prisms.

61) On sending the direct discharge of Ruhmkorff's coil through a tube of glass from one-fourth to one-eighth of an inch in diameter, provided with electrodes of platinum or of aluminium, enclosing hydrogen at a tension of 5 to 10 millims., a luminous thread of light of a bluish-white colour was seen passing along the axis of the tube. without touching the glass. When analyzed by the prism, it gave a faint spectrum of the above-mentioned numerous bright lines, especially within the red and the yellow. Among these lines neither H_α nor H_γ were seen; H_β only appeared, but less bright than many of the other lines. By interposing the Leyden jar and gradually increasing its charge (12), all lines became brighter, H_β surpassing all other lines in brilliancy; H_α appeared beautifully, H_γ fainter. Hence we

---

lines of the solar spectrum are to be regarded as an inversion of the bright lines of the electric spectrum", M. Angström concluded the coincidence of H_α with Fraunhofer's line C; but the diagram shows that this conclusion was not based on exact measurement. One of us, in his publication of 1859, not being guided by any theoretical view on this point, first announced the coincidence of H_β with Fraunhofer's F, and fixed the position of H_γ near G, of H_α at a distance of two minutes from C. When at a later period he made use of Steinheil's large spectral apparatus, he pointed out at first sight the exact coincidence of H_α with C, H_γ with a marked black line at some distance from G, towards F. In operating with spectral tubes, M. Ångström confirmed these results. (The spectroscope employed in 1859 being a small and imperfect one, there was given to the slit an aperture of more than three minutes. The adjustment was made with regard to H_β. Hence the error finally made in determining the position of H_α may be fully explained by the circumstance that the illuminated border of the slit was observed instead of the illuminated aperture itself.) — Ångström: „Optische Untersuchungen", Poggendorff's Annalen, vol. 94; „Ueber die Fraunhofer'schen Linien im Sonnenspectrum", Ibid. vol. 117. Van der Willigen: „Over het electrische Spectrum, Verhandelingen der K. Hollandsche Academie (Natuurkunde vii. & viii.). Plücker, Poggendorff's Annalen, vol. 107, p. 544.

conclude that the numerous bright lines belong neither to the vaporized metal of the electrodes, nor to the decomposed interior surface of the glass, but solely to the hydrogen, constituting a new spectrum of it. This spectrum may be seen simultaneously with the three characteristic lines H_α, H_β, H_γ; but at an increased temperature, when these lines begin to expand, it entirely disappears.

62) We got only one spectrum of *oxygen* in operating exactly in the same way as we did in the case of nitrogen, with merely this difference, that under the same conditions a spectrum of equal brightness was obtained only by means of a stronger discharge. Accordingly if oxygen, enclosed in the spectral tube, be replaced by common air, the spectrum of the oxygen it contains does not appear until after interposing the Leyden jar.

We do not enter here into the detail of the oxygen-spectrum [Taf. VII, O], but conclude with a general remark. Nearly all luminous lines of the spectra of the second order expand when the temperature of the ignited gas increases beyond a certain limit; but neither do all lines reach the same brightness before expanding, nor do the lines in the different parts of the spectrum expand at the same temperature. That is seen best in the spectrum of the second order of oxygen. The bright lines constituting the characteristic groups of its middle part oppose the greatest resistance to expansion. If they are best defined, the luminous lines towards the red extremity, most distinct at a lower temperature, are already expanded, while towards the violet extremity the luminous lines are scarcely developed; they will be brightly developed, become well defined, and extend very far, after the ignited oxygen reaches a temperature at which the groups of the middle part are expanded. Hence arises the difficulty of representing the oxygen-spectrum. A drawing exhibiting the well-defined lines successively developed in its different parts is rather an ideal image than a true representation of nature.

63) *Water* introduced into a small spectral tube was kept boiling till the last traces of air were expelled, and then, before all the water was evaporated, the tube was hermetically sealed. The direct discharge, if passing, scarcely rendered the tube luminous, but with the intercalated jar the peculiar red light of hydrogen appeared, exhibiting the characteristic lines H_α, H_β, H_γ well defined. When these lines became gradually expanded, the lines of the oxygen-spectrum successively appeared with an increasing intensity, finally rising from the hydrogen-spectrum transformed into a continuous one. Here the heat of the discharge is increased by the increased density of the vapour of water,

and reciprocally the evaporation is accelerated by the rising temperature of the discharge. The vapour of water is decomposed by the discharge; the ignited hydrogen resulting from the decomposition exhibits a spectrum at a lower temperature than the resulting oxygen does. After the discharge ceases, oxygen and hydrogen are recomposed again to water.

64) *Phosphorus,* when treated like sulphur (35), exhibits a beautiful spectrum of the second order. [Taf. VIII, P.] Whatever may be the gradual change of the intensity of light produced by regulating as well the discharge as (by means of a lamp) the heat of the spectral tube, we get only one spectrum of bright lines successively developed. Among them there is one announcing at first sight the presence of vapour of phosphorus, a triple orange line, formed by two single lines of first intensity, and a third less bright one bisecting the interval between them. The other brightest lines are seen within the green.

We got no difference at all by introducing into the spectral tube either common or red phosphorus. After the current had passed for some time, common phosphorus was seen, within the tube, transformed into a subtle powder of the red kind.

65) *Chlorine, Bromine,* and *Iodine* were among the substances first submitted to spectral analysis by one of us. On resuming the subject we fully confirmed the formerly obtained results, that not any two of the numerous spectral lines, characterizing the three substances, were coincident. [Taf. VIII.]

By means of the electric current we got in all instances only spectra of the second order. We were especially desirous of ascertaining whether there existed a spectrum of iodine, corresponding to a lower temperature, the inverse or negative image of which agreed with the spectrum produced by absorption on sending sunlight (which, in order to prevent the influence of Fraunhofer's dark lines, may be replaced by the light of phosphorus in combustion) through a stratum of heated vapour of iodine. Thus, indeed, we obtain more than fifty shaded bands, the breadth of which decreases from the violet to the red, constituting a spectrum of the first order. The flame of hydrogen in open air was not fitted to ignite vapour of iodine introduced into it sufficiently. But by feeding the flame by oxygen we got a new spectrum. Large fields, shaded by dark transversal lines, differently bounded, but quite similar to the third type of the spectra of vapour of carbon, constituted a spectrum of the first order. But the spectrum we might have expected according to theory was not seen.

66) *Arsenic*, when treated like sulphur and phosphorus, gives a well-defined spectrum of the second order.

67) So does *mercury* when introduced into a spectral tube from which air is expelled, either by means of Geissler's exhauster, or by boiling the mercury within it. After a slight heating of the tube by means of an alcohol-lamp the discharge passes; and having once passed, it continues to do so, even without the lamp. Vapour of mercury opposing a comparatively small resistance to the passing current, we found it useful to intercalate at the same time a Leyden jar and a stratum of air. Thus, indeed, by regulating as well the density of the vapour as the thickness of the stratum, we obtained the best-developed spectrum.

The least quantity of mercury, if vaporized, becomes visible by the passing current. Especially when mixed with other metals like arsenic, antimony, &c., we may detect even the least traces of it, which would entirely elude chemical analysis. Thus, for instance, we observed that arsenic, whatever may be its origin, is not free from mercury. After introducing a small quantity of it, which we heated by an alcohol-lamp when we placed it before the slit of the spectral apparatus, in a few moments four lines of great brightness, among which was a double yellow one, rose from a dark ground, but before the spectrum was fully developed it was abruptly replaced by another quite as brilliant. The first spectrum obtained belongs to vapour of mercury, first developed by evaporization, the second to arsenic, which increasingly vaporized at a higher temperature disputes the conduction of the discharge with the mercury, the vapour of which, according to its small existing quantity, reaches only a very low limit. The spectrum of arsenic remaining alone, gradually increased in brilliancy by the development and expansion of its bright lines. In cooling the spectral tube, by taking off the lamp, the spectrum of arsenic lost its extreme brilliancy; well-defined bright lines, the number of which gradually diminished, rose from a dark ground, and were replaced again by the spectral lines of mercury, till finally all light was extinguished.

68) The metals of alkalies, sodium, potassium, lithium, thallium, show, even at the lower temperature of Bunsen's lamp, a spectrum of the second order, consisting of bright lines, the number of which is increased by the higher temperature of the current, while the principal ones are expanded.

69) Barium, strontium, calcium show, even in Bunsen's lamp, shaded bands, and a bright chief single line at the same time. This line, green in the case of barium, bluish violet in the case of stron-

tium, violet in the case of calcium, fully exhibits the character of the bright lines in the spectra of the second order. The bands, if well developed, constitute a spectrum of the first order. We examined especially the spectrum of barium, by introducing its chloride into the hydrogen-flame. In making use of two prisms and employing a magnifying power of eighteen, we distinctly obtained the shading of the bands resolved into dark lines, finer and closer to one another than in former similar cases. Thus we proved that *the band-spectrum of baryta is in every respect a spectrum of the first order.*

70) Spectra of the first order were observed in the case of a few heavy metals only. Among these metals we mention in the first instance *lead.* We obtain its spectrum in Bunsen's lamp, but in order to get it beautifully developed we must make use of the oxyhydrogen flame. The spectra we obtained *were identically the same* whatever compound of lead was introduced into that flame. We especially examined its combinations with chlorine, bromine, iodine, and oxygen. In all cases we observed larger bands, which by increased temperature were divided into smaller ones. Each band has a channeled appearance produced by fine dark lines, the darkness of which increases from the more to the less refracted extremity of the band, contrary to what takes place in the violet channeled spaces of nitrogen.

Chloride of lead, when examined within our spectral tubes, showed no traces of bands; they were replaced by bright lines. But on account of the great difficulty of vaporizing it, the spectrum of the second order, owing to lead, is best developed by the discharge of Ruhmkorff's coil between two electrodes made from this metal and surrounded by an atmosphere of hydrogen. The spectrum of this gas being under these conditions nearly a continuous one (59), the bright lines of the lead-spectrum of the second order rise from a coloured ground. More than fifty lines were counted, although the fainter ones did not appear.

71) When either chloride or bromide or iodide of *copper* is introduced into the flame of Bunsen's lamp, we get spectra of bands, but these bands are not exactly the same, they differ from one another by additional bands.*) In the oxyhydrogen flame the bands are better developed, but we did not succeed in resolving the shadows of the bands into dark lines. At the same time four lines of single

*) This fact has been noticed by M. A. Mitscherlich with regard to the chloride and the iodide, and attributed by him to the undecomposed salt (Poggendorff's Annalen, Bd. 116, 1862, p. 499).

refrangibility appeared. The number of these lines was increased and the number of bands reduced, when chloride of copper was examined within our spectral tubes. The well-known spectrum of the second order was fully developed, and every trace of bands extinguished, by discharging Ruhmkorff's coil between two copper electrodes.

72) Finally, *manganese* exhibited a curious spectrum of the first order, most similar to that of carbon (third and fourth type (56)). The whole spectrum is equally divided into large fields, but these fields are shaded differently by fine transversal lines, the shadow increasing from the more to the less refracted extremity of each field. From the brighter less refracted part rise groups of bright lines, similar to the groups of carbon, but the lines of the groups are differently distributed.

When Ruhmkorff's large coil was discharged between two electrodes made from manganese (we surrounded them with an atmosphere of hydrogen), a pure spectrum of the second order, free from any traces whatever of the former spectrum, was obtained.

Explanation of the Plates.

In determining the different spectra both of the first and the second order, the dispersing prisms occupied invariably the same position, corresponding to the minimum deviation of the green hydrogen-line H_β, *i. e.* Fraunhofer's *F*. All spectra represented in the Plates are referred to the three hydrogen-lines H_α, H_β, H_γ, and the double sodium-line Na. Generally two prisms of about 60° and 45° were employed, giving the distances of H_α and Na on one side and of H_γ on the other side from H_β by the following numbers of divisions of an arbitrary scale:

139,6 100,5—101 88,5.

In the first Plate [Taf. VI.] portions of all the coloured spectra are represented as they appear by making use of two additional prisms of 45°.

Plate I. [Taf. VI.]

contains spectra of the first order. The first spectrum, N, belonging to nitrogen, is taken under such conditions that both its extremities appear equally developed. To the whole spectrum is added a representation of two bands, C, of its more refracted part, obtained by means of the four prisms. Here a determined number of subtle dark transverse lines produce the channeled appearance. Likewise the configuration of two orange bands, A, and two green ones, B, is repre-

sented, exhibiting the character of the less refracted part of the spectrum (15—19, 27, 28).

S represents the spectrum of sulphur, as obtained by means of an exhausted bent spectral tube enclosing sulphur moderately heated by an alcohol lamp, and traversed by the charge without an interposed jar (35, 36).

Two green and two blue shaded bands, as seen by means of the four prisms, are represented by A and B.

C I shows the spectrum of vapour of carbon obtained by the combustion of cyanogen in oxygen. It exhibits within the large shaded fields groups of peculiar bright lines, the brilliancy of which it was impossible to represent. These groups are denoted by *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, *g*, *h*. The red extremity becomes fainter when the heat of combustion increases, and even appears more distinct if the combustion takes place in air (41—46).

The configuration of one of the red bands, as seen when the four prisms are employed, is represented by A.

C II exhibits the spectrum of vapour of carbon obtained by means of spectral tubes enclosing oxide of carbon, the gas being decomposed by the electric discharge (49, 50). On taking away all characteristic groups, the remaining part of the spectrum, consisting only of three large shaded fields, is that obtained if the density of the gas be greater and the discharge too strong (51), as well as in the case of imperceptible traces of decomposed carbonic combinations (8).

C III shows the less refracted part of the brightest of the large shaded fields (51).

C IV exhibits a peculiar distribution of light and shade within the violet, scarcely indicated in C I, but well developed when olefiant gas instead of cyanogen is burnt in oxygen (48).

Plates II. & III. [Taf. VII. u. VIII.]

represent spectra of the second order, on a scale one-third larger than the scale of Plate I. [VI.].

In Plate II. [VII.] N shows the second spectrum of nitrogen (20—23), O the spectrum of oxygen (62), S the second spectrum of sulphur (37, 38), Se of selenium (39).

In Plate III. [VIII.] I shows the spectrum of iodine, Br of bromine, Cl of chlorine. Some remarks may be added here with regard to the conditions under which the spectra are obtained.

Iodine was introduced into a bent spectral tube, and the tube exhausted as far as possible. While more recently tubes have been

constructed which do not allow the discharge of Ruhmkorff's large coil to pass, not even at a very short distance of the electrodes, the same effect will scarcely be obtained if iodine is enclosed in the tube. Accordingly the very first moment the phenomena described in art. 8 take place; but soon after, vapour of iodine is developed, and by the heating power of the discharge we get, without the Leyden jar, a spectrum of mere iodine, consisting of very well-defined lines on a dark ground. After the interposition of the jar these lines became more brilliant, but remained well defined, and their number increased. Then the position and the intensity of the lines of the middle part were determined, while the red extremity was not at all developed, and the violet one most imperfectly. If the density of the vapour is increased by heating the tube by means of an alcohol lamp, the lines determined are expanded, while the ground becomes illuminated. The brilliancy so increases that the eye can scarcely bear it, till at last the discharge ceases to pass. While the middle part approaches to continuity, a certain number of delicate brilliant red lines, seen in the diagram, appear, and do not lose their distinctness as long as the discharge passes. Towards the violet extremity new lines likewise appear, but though that extremity becomes most brilliant, we were not able to get the lines well-defined. Accordingly the position of the expanded lines is approximately indicated by dotted lines.

A drop of bromine was introduced into a small exhausted spectral tube. The tension of its vapour being too great to allow the discharge to pass, the vaporized fluid was expelled till the remaining vapour obtained a tension of about 6 centimetres. But by and by the vapour of bromine, combined with the platinum of the electrodes, was deposited on the interior surface of the tube, and after some time, evidently from want of sufficient conducting matter, the beautiful spectrum fainted almost suddenly. The spectrum was taken with the interposed jar. In this case H_α and H_β are simultaneously seen, but expanded, indicating traces of remaining water. The lines of oxygen are not seen. Without the jar hydrogen is not indicated. Then four bright lines, belonging to bromine, appear in the neighbourhood of H_α. While, with the interposed jar, they are fully expanded like this hydrogen-line, a less refracted subtle line appears, always remaining most distinct. The blue and violet extremity of the spectrum is better defined than in the case of iodine.

The spectrum of chlorine is taken under similar conditions with the spectrum of bromine. The spectral tube most carefully exhausted was several times filled with chlorine and exhausted again. The final

tension of the remaining gas was about 6 centimetres, as it was in the former case.

P exhibits the spectrum of phosphorus (64).

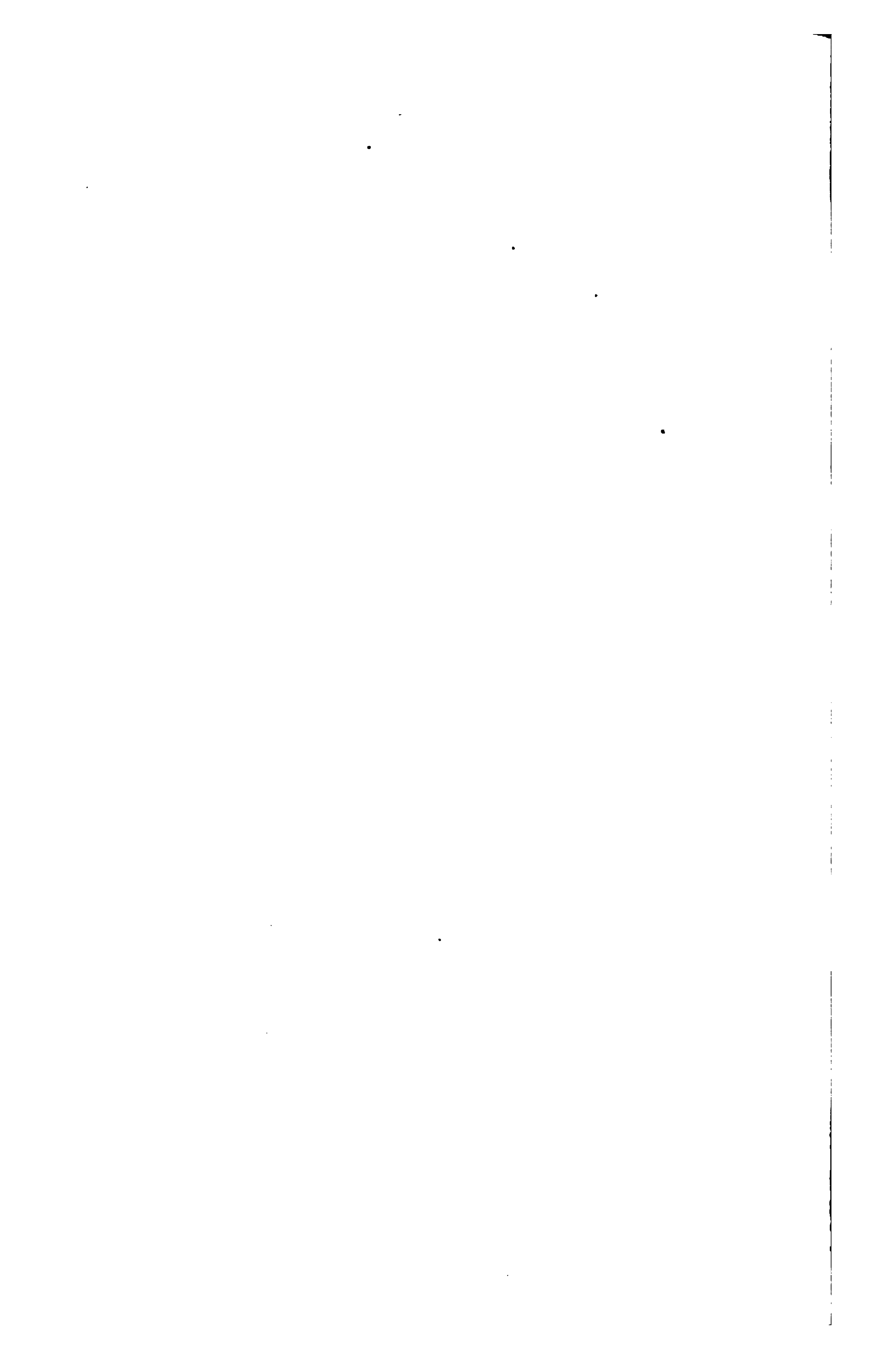
We conclude with a general remark regarding more or less all the spectra of the second order represented in Plates I. & II. The intensity attributed to the different bright lines constituting these spectra corresponds to the condition in which they are best developed. There seems to be a general rule that all luminous lines become brighter and are finally expanded, when the heating-power of the discharge continually increases. But for different lines the intensity does not rise in the same ratio: thus lines less brilliant at first than others may afterwards surpass them in brilliancy. The intensity attained by the different luminous lines before they are expanded greatly differs; lines may disappear by expansion, while others of the same spectrum do not yet appear. The least-refracted lines generally resist expansion the most.

III.

ABHANDLUNGEN

AUS

VERSCHIEDENEN GEBIETEN.



42.

Ueber das Ohm'sche physikalische Gesetz.

(Crelle's Journal für die reine und angewandte Mathematik, Bd. 35, S. 93—99, 1847.)

1) Eines der einfachsten und zugleich wichtigsten physikalischen Gesetze ist ohne Zweifel das Ohm'sche, und keine Darlegung der durch galvanische Ströme hervorgerufenen Erscheinungen kann auf Wissenschaftlichkeit Anspruch machen, wenn sie nicht dieses Gesetz zur Basis nimmt. Durch dasselbe sind aus der Sprache der Physik die unbestimmten Begriffe Quantität und Intensität verschwunden, oder vielmehr ist diesen früher undefinirten Werthen ein bestimmter Begriff untergelegt worden. Wenn man nach der Ursache fragt, weshalb das Ohm'sche Gesetz so langsam zu der ihm gebührenden Anerkennung gelangt ist und seine ganze Bedeutung immer noch nicht in den Lehrbüchern erhalten hat, findet sich dieselbe im Allgemeinen darin, dass es die überall verbreiteten Ansichten über galvanische Erregungen nicht zu unterstützen schien; und dann insbesondere in dem Einflusse der genannten Wörter, mit welchen man, auf den galvanischen Strom angewandt, bildliche Anschauungen zu verbinden geneigt ist, die man aber aufgeben muss, wenn man zur klaren Auffassung des Thatsächlichen gelangen will. Ich halte jeden Schritt, der dazu beiträgt, die Bedeutung des Ohm'schen Gesetzes durch neue Anwendungen in ein helleres Licht zu stellen, für einen wesentlichen Beitrag zur Förderung der Wissenschaft. So hat denn auch nicht leicht eine Abhandlung musterhafter mir geschienen, als diejenige von Wheatstone, welche in Poggendorff's Annalen, aus den Philosophical Transactions für 1843 übersetzt, sich findet unter dem Titel „Beschreibung verschiedener neuer Instrumente und Methoden zur Bestimmung der Constanten einer Volta'schen Kette.“ Bd. 62, S. 499. Diese Abhandlung hat mir die Veranlassung zu einigen kleinen Arbeiten gegeben, und meine Absicht ist hier, dem Vorliegenden einige einfache Folgerungen aus dem Ohm'schen Gesetze hinzuzufügen, welche mir begegneten, als ich dasselbe

auf eine praktische Aufgabe, die der Bestimmung der vortheilhaftesten Drahtdicke zur Herstellung eines starken, für die neuesten Faraday'schen Versuche bestimmten Elektromagneten, anwandte.

2) Für die Stärke des galvanischen Stromes, welcher durch ein einzelnes Element hervorgerufen wird, ergiebt sich nach dem Ohm'schen Gesetze der Ausdruck

$$\frac{E}{R+G}.$$

E bedeutet die elektromotorische Kraft, welche bei einem Zink-Kupfer-Elemente zum Beispiel eine andere ist, als bei einem Zink-Platin-Elemente, und welche man sich auf irgend eine Einheit bezogen vorstellen muss. Sie ändert sich nicht mit der Grösse der Plattenpaare. R bedeutet den Widerstand in der Kette, G den Widerstand im Leitungsdrahte. Beide müssen in derselben Einheit ausgedrückt werden, und für diese Einheit kann man den Widerstand in einem beliebigen Kupferdraht annehmen, dessen Länge und Querschnitt man ebenfalls gleich Eins setzt. Schliesst man die Kette durch einen Kupferdraht von derselben Dicke, so giebt die Länge des Drahtes den Widerstand G.

Verbindet man mehrere Elemente zu einem einzigen, so bleibt die elektromotorische Kraft dieselbe, während der Widerstand, in der Voraussetzung, dass alle Elemente einander gleich sind, im Verhältniss der Anzahl der Elemente sich vermindert. Beträgt also diese Zahl x, so erhält man für die Intensität des Stromes

$$\frac{Ex}{R+Gx}.$$

Bei einer Kette, die aus mehreren Elementen besteht, summiren sich die elektromotorischen Kräfte der einzelnen Elemente, ebenso summiren sich die Widerstände. Sind demnach alle Elemente einander gleich, und beträgt ihre Anzahl y, so ergiebt sich für die Intensität des Stromes:

$$\frac{Ey}{Ry+G}.$$

Stellt man endlich x Ketten von y Elementen zusammen, so kommt dies darauf hinaus, den y Elementen des vorigen Falles eine x-mal grössere Oberfläche zu geben*); wonach also in dem vorstehenden

*) Diese allgemein gemachte Annahme kommt darauf hinaus, dass man, wenn man zum Beispiel zwei (oder mehrere) Ketten von gleich vielen und gleich grossen Zink-Platin-Elementen neben einander stellt und dann an die Platinplatten des ersten Elementes jeder Kette das eine und an die Zinkplatten des letzten Elements jeder Kette das andere Ende des Verbindungsdrahtes befestigt, eine Stromstärke erhält, welche dieselbe bleibt, wenn ausserdem noch Zink mit Zink und Platin mit Platin in den sich entsprechenden, neben einander stehenden

Ausdrucke, um die Intensität des neuen Stromes zu finden, der Widerstand auf den x^{ten} Theil reducirt werden muss, was

$$(1) \qquad \frac{Exy}{Ry + Gx}$$

giebt.

3) Wenn die Anzahl aller Elemente, die man auf verschiedene Weisen zu Ketten verbinden kann, gegeben und gleich a ist, so dass

$$(2) \qquad xy = a,$$

so entsteht die Frage, wie, wenn der Widerstand G gegeben ist, die Verbindung gemacht werden muss, um den *stärksten* Strom zu erhalten. In Folge der letzten Gleichung verwandelt sich zunächst die vorhergehende in

$$(3) \qquad \frac{Ea}{Ry + Gx},$$

und dann muss der Ausdruck $Ry + Gx$, indem man x und y als veränderlich betrachtet, ein Minimum werden. Zur Bestimmung dieses Minimums ergiebt sich

$$Rdy + Gdx = 0 \quad \text{und} \quad xdy + ydx = 0,$$

und hieraus

$$(4) \qquad \frac{R}{G} = \frac{x}{y}.$$

Aus der Verbindung dieser Gleichung mit der Gleichung (2) findet sich

$$(5) \qquad y = \sqrt{\frac{G}{R}a} \quad \text{und} \quad x = \sqrt{\frac{R}{G}a},$$

und für das Maximum der Stromstärke:

$$(6) \qquad \frac{Ea}{2Ry} = \frac{Ea}{2Gx} = \frac{1}{2}E\sqrt{\frac{a}{RG}}.$$

4) Die Gleichung (4) zeigt, dass in dem Falle des fraglichen Maximums *die Anzahl der Ketten zu der Anzahl der Elemente*) sich verhält, wie der Widerstand in jedem Elemente zu dem Widerstande in dem Leitungsdrahte.* Wenn also dieser letzte Widerstand (der Widerstand ausserhalb der Kette) zunimmt, so wächst die Anzahl der Elemente gegen die Anzahl der Ketten.

Elementen der Ketten verbunden wird. Durch diese neue Verbindung könnte nur dann eine Aenderung in der Stromstärke hervorgebracht werden, wenn durch die Drähte, welche die Verbindung herstellen, ein Strom hindurchginge. Dies kann aber nicht der Fall sein, weil in Folge der Symmetrie der Anordnung ein Strom nach einer Richtung einen gleichen Strom nach entgegengesetzter Richtung erfordern würde. Dadurch ist die obige Annahme von vornherein gerechtfertigt.

*) [D. h. deren Anzahl in jeder einzelnen Kette.]

Nach dem letzten Ausdrucke (6) ist in dem Falle des Maximums die Stromstärke

1. *proportional der elektromotorischen Kraft,*
2. *proportional der Quadratwurzel aus der Anzahl der Elemente,*
3. *umgekehrt proportional der Quadratwurzel aus dem Widerstande in jedem einzelnen Elemente und*
4. *umgekehrt proportional der Quadratwurzel aus dem Widerstande des Leitungsdrahtes.*

Man sieht aus dem Vorstehenden, dass die Vermehrung der elektromotorischen Kraft am meisten zur Verstärkung des Stromes beiträgt; so dass zum Beispiel, wenn eine Kraft sich fände, die zweimal, dreimal grösser wäre, als die gewöhnliche, 60 Elemente so stark wirken würden, als jetzt bezüglich 240 und 540. Es ist ferner ersichtlich, dass die Stromstärke im Maximum unverändert bleibt, wenn die Anzahl der Elemente in demselben Verhältnisse wächst, wie entweder der Widerstand in jedem Elemente, oder der Widerstand im Leitungsdrahte zunimmt.

5) Es ist nicht zu übersehen, dass der obige Ausdruck im Allgemeinen nur ein ideales Maximum giebt, indem die Natur der Sache es mit sich bringt, dass x und y ganze Zahlen und überdies Factoren von a sein müssen. Bei manchen Fragen lässt sich indessen G so bestimmen, dass diese Voraussetzung stattfindet. Es sei zum Beispiel die Menge des zu verwendenden Drahtes gegeben, etwa 600 Fuss des Normaldrahts, dessen Querschnitt gleich Eins ist, so dass, wenn man diesen Draht unmittelbar zur Schliessung anwendet, $G = 600$ ist. Giebt man dem Schliessungsdrahte einen $\varkappa$-mal kleineren Querschnitt, und nimmt ihn also $\varkappa$-mal länger, so wird nach dem Ohm'schen Gesetze der Widerstand $\varkappa^2$-mal grösser, und es ist dann in die Formeln $\varkappa^2 G$ statt G zu setzen. Dies giebt

$$(7) \qquad y = \varkappa \sqrt{\frac{G}{R} \cdot a} \quad \text{und} \quad x = \frac{1}{\varkappa} \sqrt{\frac{R}{G} \cdot a},$$

und, wenn man die Stromstärke durch J bezeichnet:

$$(8) \qquad J = \frac{1}{2\varkappa} \cdot E \sqrt{\frac{a}{RG}}.$$

Der Coëfficient $\varkappa$ lässt sich so bestimmen, dass x und y nach einander die verschiedenen [ganzzahligen] Factoren von a werden. Es sei z. B.

$$a = 24 \quad \text{und} \quad R = 100,$$

die Länge des Schliessungsdrahtes G gleich g, und E gleich Eins. Dann ergiebt sich für die acht verschiedenen Zusammenstellungen der gegebenen 24 Elemente:

$$x = 1, \quad y = 24, \quad \varkappa = 2, \quad g = 1200, \quad J = \frac{1}{200},$$
$$x = 2, \quad y = 12, \quad \varkappa = 1, \quad g = 600, \quad J = \frac{1}{100},$$
$$x = 3, \quad y = 8, \quad \varkappa = \frac{2}{3}, \quad g = 400, \quad J = \frac{1}{66^2/_3},$$
$$x = 4, \quad y = 6, \quad \varkappa = \frac{1}{2}, \quad g = 300, \quad J = \frac{1}{50},$$
$$x = 6, \quad y = 4, \quad \varkappa = \frac{1}{3}, \quad g = 200, \quad J = \frac{1}{33^1/_3},$$
$$x = 8, \quad y = 3, \quad \varkappa = \frac{1}{4}, \quad g = 150, \quad J = \frac{1}{25},$$
$$x = 12, \quad y = 2, \quad \varkappa = \frac{1}{6}, \quad g = 100, \quad J = \frac{1}{16^2/_3},$$
$$x = 24, \quad y = 1, \quad \varkappa = \frac{1}{12}, \quad g = 50, \quad J = \frac{1}{8^1/_3}.$$

6) Die Gleichung (8) drückt das Gesetz aus: dass sich, für das Maximum der Stromstärke, diese bei einem gegebenen Gewichte des Schliessungsdrahtes umgekehrt wie die Länge desselben verhält. Zertheilt man hiernach in Gedanken den ursprünglichen Schliessungsdraht in $\varkappa$ einzelne Drähte von gleicher Dicke und stellt sich den Strom einmal durch den ursprünglichen Draht, dann nach einander durch jeden der $\varkappa$ einzelnen Drähte gehend vor, so ist in beiden Fällen die Maximum-Wirkung*) *dieselbe.* Dieses würde also in dem Falle des Multiplicators, sei es, dass er eine Magnetnadel ablenkt, oder dass er, wie in der Stöhrer'schen Maschine, eine Eisenmasse magnetisch macht und zum Rotiren bringt, dann stattfinden, wenn eine Windung des ursprünglichen Drahts denselben Raum einnähme, wie $\varkappa$ Windungen des $\varkappa$-mal dünneren Drahts. Unter derselben Voraussetzung würde dies auch dann stattfinden, wenn man, um einen Elektromagnet herzustellen, einen Eisenkern mit Kupferdraht umwickelt. In dem Beispiele der vorigen Nummer haben wir acht Maximum-Wirkungen, die der Voraussetzung entsprechen, dass man der gegebenen Drahtmasse nach einander 50, 100 . . . 1200 Fuss Länge giebt. Nehmen wir, um die Ideen zu fixiren, ferner an, dass 50 F. Draht um den Eisenkern (der in seiner ganzen Länge, oder auch nur streckenweise umwickelt werden mag) eine Lage bilden, so erhalten wir, indem wir die obige Voraussetzung festhalten, in den acht Fällen dieser Lagen bezüglich 1, 2, . . 24, und der in dem Eisenkern hervorgerufene Magnetismus wird überall derselbe sein. Aber die Voraussetzung weicht immer, namentlich bei

*) [Hiermit ist die elektromagnetische Wirkung des zu einer Rolle gewickelten stromdurchflossenen Drahtes gemeint.]

der nothwendigen Umspinnung des Drahtes, merklich und in manchen Fällen sehr weit von der Wirklichkeit ab. *In dieser Abweichung liegt der Grund des Vorzuges eines dicken Drahtes.*

7) Wenn die Länge des Drahtes gegeben ist, so erreicht man im Allgemeinen das ideale Maximum nicht, kann dann aber, wenn man den Widerstand in einem Elemente kennt, berechnen, wie weit man hinter jenem zurückbleibt, und dies mit in Anschlag bringen. Hätte in dem betrachteten Falle der Draht die gegebene Länge von 900 F., wäre also der entsprechende Widerstand 1350, so fände sich

$$y = 18, \quad x = 1^1/_3, \quad J = \frac{1}{150}.$$

Es bleibt also hier nur die Alternative, die gegebenen 24 Elemente zu zwei Ketten zu verbinden, oder dieselben als eine einzige Kette wirken zu lassen. In beiden Voraussetzungen erhalten wir, wenn wir die Intensitäten nach der Formel (1) berechnen:

$$y = 12, \quad x = 2, \quad J = \frac{1}{162^1/_4},$$

$$y = 24, \quad x = 1, \quad J = \frac{1}{156^1/_4}.$$

Die letztgenannte Verbindung ist also in diesem Falle die vortheilhafteste, und man bleibt dann nur um $^1/_{24}$ hinter jenem Maximum zurück.

Wir wollen als zweites Beispiel

$$a = 60, \quad R = 100, \quad G = g = 800 \text{ Fuss}$$

setzen. Dann ergiebt sich für das ideale Maximum:

$$y = 21{,}9, \quad x = 2{,}7, \quad J = \frac{1}{73{,}03}.$$

Verbindet man, um diesem Maximum möglichst nahe zu kommen, die 60 gegebenen Elemente einmal zu drei, das andere Mal zu zwei Ketten, so findet sich

$$y = 20, \quad x = 3, \quad J = \frac{1}{73{,}33},$$

$$y = 30, \quad x = 2, \quad J = \frac{1}{76{,}66}.$$

Bei der ersten Verbindungsart bleiben wir also nur um $\frac{1}{240}$ hinter dem Maximum zurück. Es ergeben sich in diesem Beispiele zwölf verschiedene Drahtlängen, welchen wirkliche Maxima entsprechen; diese liegen zwischen 37 F. und 2192 F., dem entsprechend, dass alle Tröge als ein einziges Element oder als eine einzige Kette wirken.

Ist nur ein einziges Element vorhanden, so ist $x = y = a = 1$, und die in Rede stehende Maximum-Wirkung fordert alsdann, dass R,

der Widerstand in diesem Elemente, dem Widerstande in dem Leitungsdrahte gleich sei. Ist dies nicht der Fall, so bleibt man hinter dem idealen Maximum zurück; und zwar verhalten sich dann die Quadrate dieses Maximums und der wirklichen Stromstärke wie[1])

$$(R + G)^2 : 4RG = 1 + \frac{(R - G)^2}{4RG} : 1 .$$

8) Geht man von einem wirklichen Maximum aus, so gelangt man wieder zu einem solchen Maximum, wenn man y unverändert lässt und einerseits x mit λx, folglich auch a mit λa, und andrerseits R mit λR vertauscht. Bei dieser neuen Maximum-Wirkung bleibt (bei gleichem Widerstande ausserhalb der Kette) die Stromstärke unverändert dieselbe.

Wenn man also von irgend einer Maximum-Wirkung ausgeht, so erhält man eine zweite *gleiche* Wirkung, wenn man die Anzahl der Ketten beliebig vermehrt oder vermindert und in demselben Verhältnisse die wirksame Metalloberfläche der einzelnen Elemente verkleinert oder vergrössert. Es folgt daraus, dass bei der Maximum-Wirkung *dieselbe wirksame Metalloberfläche immer dieselbe Stromstärke giebt.*[2])

Man kann in dem Vorstehenden auch $y = 1$ setzen, statt der Ketten also auch einzelne Elemente nehmen.

— — ——— —

43.

Ueber die Fessel'sche Wellenmaschine.

(Annalen der Physik und Chemie, Bd. 78, S. 421—425, 1849. Aus einem Schreiben an den Herausgeber der Annalen.)

Hiermit übersende ich Ihnen die versprochene Notiz über den Fessel'schen Apparat zur Darstellung der Wellenbewegung des Lichtäthers, welcher bereits seit ein paar Monaten in Ihren Händen ist. Ich habe damit so lange gezögert, weil ich zugleich über einen neuen Apparat, der eben fertig geworden ist, berichten wollte. Herr Wheatstone hat zuerst die sinnreiche Idee gehabt, gleich lange parallele Stäbe, die an einem Ende mit einem Knopfe versehen sind, durch Auflegen und Anstossen an zwei gleiche Wellenmodelle von Mahagoniholz, die unter einem Winkel von 90° gegen einander gerichtet sind, in eine solche Lage zu bringen, dass die Aufeinanderfolge der Knöpfe die Form derjenigen Welle darstellt, die aus den beiden Wellen resultirt. Bringen wir die Wellenmodelle gegen einander in alle möglichen Lagen, so erhalten wir alle möglichen Formen, die die Lichtwellen in der geradlinigen, elliptischen und kreisförmigen Polarisation haben. Dieses konnte bei dem Apparate, den ich bei Herrn Wheatstone im Herbst 1848 sah, durch eine continuirliche Verschiebung *eines* der beiden Modelle geschehen, wonach der Polarisationszustand continuirlich sich änderte. Der Anblick dieses Apparates gab mir sogleich den Gedanken, dass man *durch gleichzeitige Verschiebung beider Modelle* — nachdem man sie in einer solchen gegenseitigen Lage, wie sie der Form der Welle in jeder beliebigen Polarisationsart des Lichtes entspricht, fest verbunden hat — die wirkliche *Bewegung* der Aethertheilchen bei dieser Art der Polarisation darstellen könne. Diese Idee hat Herr Fessel, Lehrer an der Provinzial-Gewerbeschule zu Köln und zugleich ein geschickter praktischer Mechaniker, in dem in Ihren Händen befindlichen Apparate ausgeführt.

Die Stäbe, die gleich lang und an ihrem oberen Ende mit einem kleinen Knopfe versehen sind, stehen senkrecht auf einem nach der Form einer senkrechten Welle gebogenen Messingstreifen, der auf Eichenholz an einem Schieber *A* von Mahagoni befestigt ist. Ueber diesem ersten Schieber *A* befindet sich ein zweiter *B*, bestehend aus zwei parallelen horizontalen Messingblechen, in welchen senkrecht übereinander zwei sich genau entsprechende, vollkommen gleiche Wellenlinien geschnitten sind, durch welche die Stäbe hindurch gesteckt werden. Die einzelnen Stäbe sind von einander durch zwei Lagen paralleler horizontaler Metallstreifen getrennt, so dass sie nur in den Zwischenräumen zwischen denselben, ohne zu viel Spielraum, fortgeschoben werden können. Statt des oberen Schiebers *B* kann auch ein Schieber *C* eingesetzt werden, in welchen statt der beiden eingeschnittenen Wellenlinien zwei geradlinige Einschnitte gemacht sind. Wenn man diesen letzten Schieber *C* gebraucht, so erhält man durch Ausziehen und Einstossen des unteren Schiebers *A* die Bewegung einer verticalen Welle polarisirten Lichtes. Wenn man sich der Schieber *A* und *B* bedient, so erhält man zunächst durch Verschiebung des einen Schiebers gegen den andern, wie bereits Herr Wheatstone, die Form der Lichtwellen in allen möglichen Polarisationsarten, und wenn man dann die beiden Schieber miteinander verbindet und gleichzeitig bewegt, die entsprechende Bewegung der Aethertheilchen selbst.

Um das Entstehen der Wellen im ruhenden Aether zu veranschaulichen, sind noch zwei Schieber, *D* und *E*, hinzugefügt, der eine mit einem Wellenmodell, das in einer Ebene ausläuft, der andere mit Welleneinschnitten, die zuletzt geradlinig werden. Man kann auch die Schieber *A* und *E* oder *D* und *B* combiniren; dann sieht man, wie zu einer verticalen Welle eine horizontale, oder zu einer horizontalen Welle eine verticale hinzukommt. Die Combination von *D* und *E* endlich zeigt das Entstehen einer einfachen verticalen Welle.

Der neue oben erwähnte Apparat ist vorzugsweise dazu bestimmt, eine auf einen Krystall auffallende Lichtwelle zugleich mit der Bewegung der beiden Lichtwellen im Innern des Krystalls darzustellen. Er ist gewissermassen aus drei bereits früher beschriebenen Apparaten zusammengesetzt; ein Schieber *F* giebt die Welle in der Luft, und zwei Paare mit einander verbundener Schieber *G* und *H*, *J* und *K*, geben die beiden Wellen, in welche jene beim Eintritt in den Krystall sich theilt. Durch Umbiegen werden die Knöpfe der durch diese beiden Schieberpaare bewegten Nadeln so gerichtet, dass alle für den Fall der Ruhe in einer geraden Linie liegen, der gemeinschaftlichen Axe (Normale) der drei Wellen. Die Bewegung wird durch gezahnte

Stangen und drei Räder vermittelt, und ist für die drei Wellen eine verschieden schnelle.

Wenn in jedem Schieberpaare die Phasen der beiden Wellen übereinstimmen, so haben wir den Fall einer Lichtwelle, die auf einen parallel mit der Axe geschnittenen Doppelspath senkrecht auffällt, und deren Ebene mit dem Hauptschnitte einen Winkel von 45° bildet, und die sich in zwei senkrecht gegen einander schwingende, geradlinige Wellen auflöst. Die relativen Längen, Intensitäten und Geschwindigkeiten der Wellen sind dem bezeichneten Falle des Doppelspathes annäherungsweise entnommen.

Wenn der Phasenunterschied der beiden Wellen in den Schiebern G und H, sowie in J und K — es kann derselbe ganz beliebig genommen werden — insbesondere $\frac{1}{4}$ Wellenlänge beträgt, so haben wir den Fall einer Lichtwelle, die, nach der Axe in Bergkrystall eintretend, sich in zwei kreisförmig polarisirte, sich rechts und links drehende Wellen zerlegt. Man sieht, wie in dem Falle des Doppelspaths die beiden sich kreuzenden Wellen, hier die mit verschiedenen Geschwindigkeiten sich drehenden rechts und links gewundenen Spiralen im Innern des Krystalls, sowie die Drehung der Polarisationsebene, die eine Folge davon ist.

Obgleich ich ziemlich vertraut mit der Theorie der Wellenbewegung des Aethers im Innern der Krystalle bin, so hat der neue Apparat doch sehr dazu beigetragen, mir diese Bewegung anschaulicher zu machen. Es springt zum Beispiel auf den ersten Blick in die Augen, wie die Drehung der Polarisationsebene im Bergkrystall der Dicke der senkrecht gegen die Axe geschnittenen Platte proportional ist, und dass, wenn diese Drehung 180° beträgt, die Zahlen der nach der Axe fortschreitenden beiden Lichtwellen innerhalb der Platte um eine Einheit verschieden sind. Diese Zahlen seien daher $(m+1)$ und m, die entsprechenden Brechungscoëfficienten μ' und μ, endlich sei die Dicke der Platte, die die Polarisationsebene für eine bestimmte Farbe um 90° dreht, gleich c, und die Länge der entsprechenden längeren Welle λ, so ist

$$\frac{\mu}{\mu'} = \frac{m+1}{m}, \qquad m\lambda = 2c,$$

und folglich:

$$\lambda = 2c\left(\frac{\mu}{\mu'} - 1\right),$$

$$\frac{\mu}{\mu'} = \frac{\lambda}{2c} + 1.$$

Wir können hiernach die doppelte Brechung nach der Axe des Bergkrystalls berechnen und umgekehrt aus der Messung dieser

doppelten Brechung für einen bestimmten Fall auf neuem Wege die Länge der Lichtwellen für die betreffende Farbe bestimmen. Die numerische Verification dieser Formeln würde eine neue Bestätigung der Fresnel'schen Theorie geben. Ich schreibe sie hier bloss hin zur Empfehlung des Apparates, den Herr Fessel genau und elegant ausgeführt hat.*)

*) Herr Fessel hat den Preis dieses Apparates auf 90 Thaler festgestellt. Der einfache Apparat mit den Schiebern A, B und C kostet 25 Thaler, und wenn die Schieber D und E noch hinzukommen, 35 Thaler.

44.

Ueber den neueren Boutigny'schen Versuch.

(Annalen der Physik und Chemie, Bd. 78, S. 425—427, 1849; Schreiben an den Herausgeber der Annalen.)

Vielleicht interessirt es Sie, eine Bestätigung der neuesten Versuche des Herrn Boutigny zu erhalten. Um Ostern dieses Jahres hat derselbe mit gewohnter Freundlichkeit mir seine früheren Versuche gezeigt, und seine seltene Ausdauer in Verfolgung eines fruchtbaren Gedankens bewundernd, nahm ich damals den Eindruck mit hinfort, dass es sich hierbei um lange noch nicht vollständig enthüllte Naturgesetze handle, worin ich durch die Nachricht von seinen letzten Versuchen nur bestärkt wurde. In Folge einer mündlichen Besprechung dieser Versuche schrieb mir Herr Fessel aus Köln, er habe am folgenden Tage seine Finger in möglichst stark erhitztes Blei eingetaucht, der hervorragende Nagel eines Fingers sei dabei verbrannt worden, sonst aber seien die Finger ganz unversehrt geblieben; und gleich darauf schrieb er mir weiter, ein Arbeiter in der Maschinenfabrik von Behrens & Comp. zu Köln habe den Versuch mit geschmolzenem Eisen gemacht und wolle denselben vor mir wiederholen. Dieses Anerbieten annehmend, ging ich in Begleitung mehrerer Personen, die sich für die Sache interessirten, nach Köln. Der Arbeiter schlug in meiner Gegenwart wirklich mit den nicht benetzten Fingerspitzen, rasch und nicht ohne Aengstlichkeit, gegen die Oberfläche des Eisens, das eben aus dem Schmelzofen in eine Wanne ausgeströmt war und später zum Gusse einer grossen Ofenplatte verwendet wurde. Von der Richtigkeit der Boutigny'schen Versuche war ich hierdurch vollständig überzeugt, und als ich eben zu dem Arbeiter hinzutrat, um seine Fingerspitzen genauer zu untersuchen, schlug bereits einer der mich begleitenden beiden Assistenten des physikalischen Kabinets mit der vollen flachen Hand, die er zuvor in Wasser getaucht hatte, so stark gegen die hellglühende Oberfläche, dass geschmolzenes Eisen herumgeworfen wurde, und gleich darauf schlug auch der andere Assistent mit benetzter Hand hinein. Nach diesen Versuchen, die selbst gegen die von Boutigny

angerathenen Vorsichtsmaassregeln, nicht gegen die Masse zu schlagen, angestellt worden waren, schienen Versuche, die ich der Vorsicht wegen vor dem Eintauchen machen wollte, für diesen Zweck überflüssig; ich benetzte die rechte Hand, steckte den Zeigefinger fast ganz in die geschmolzene Masse, und zog ihn, ganz langsam durch dieselbe hinfahrend, nach ein paar Sekunden wieder heraus. Ich fühlte, wie das Eisen vor meinem Finger floh, und hatte in demselben *durchaus keine* Empfindung von Hitze.*)

Ich würde die Temperatur des Eisens, die etwa 1500° C. war, nicht auf 36° geschätzt haben, der Finger war beim Herausziehen weniger warm als die übrige Hand. Auch Herr Fessel und meine drei übrigen Begleiter wiederholten unter Modificationen diese Versuche; einer derselben mit trockener Hand, einer bemerkte, wie die zuvor in Wasser eingetauchte Hand nur so weit trocken herauskam, als sie nicht eingetaucht war, ein dritter schöpfte das Eisen mit der hohlen Hand. Die kleinen Härchen auf den eingetauchten Fingern waren überall verschwunden, die Nägel hatten durchaus nichts gelitten, auch war kein besonderes Eindringen der Wärme durch die Nägel bemerkbar. Die herausgezogene Hand hatte einen schwachen brenzlichen Geruch, der, wo Schwielen vorhanden, stärker war; aber nirgend das geringste Gefühl einer Verbrennung oder auch nur einer unangenehmen Hitze. Gewisse Operationen der niederen Chirurgie würden sich hiernach am schmerzlosesten machen lassen, wenn man den Fuss in ein Bad glühenden Eisens brächte. Zuletzt machte ich noch einen Versuch, dem eigentlich seine Stelle früher bestimmt war: ich hing den Finger eines ledernen Handschuhes, den ich von innen stark benetzt und um einen Holzstab gezogen hatte, beinahe eine Minute lang in das geschmolzene Eisen; beim Herausziehen war der Handschuh nicht nur nicht verbrannt, sondern auch nur etwa (ein Thermometer stand mir damals nicht zu Gebote) 40° warm.

Vermuthungen und theoretische Ansichten über diese merkwürdigen Erscheinungen hier schon ohne weitere Versuche auszusprechen, würde voreilig sein. Ich hoffe indess, Ihnen darüber bald einen Beitrag für die Annalen schicken zu können.[1])

*) Schon vor länger als 20 Jahren sah Herr Prof. H. Rose bei einem Besuch der Hüttenwerke zu Avestad in Schweden, dass ein Arbeiter für eine geringe Belohnung flüssiges Kupfer mit der blossen Hand aus einem Tiegel schöpfte und gegen die Wand warf. Es bestätigt dies, wie andere Thatsachen, die Herr Boutigny selbst in seiner (nächstens auch in diesen Annalen erscheinenden) Abhandlung aufführt, dass das erwähnte Phänomen, namentlich in technischen Kreisen, längst kein unbekanntes war.

45.

Ueber den Fessel'schen elektromagnetischen Motor.

(Annalen der Physik und Chemie, Bd. 83, S. 463—464. 1851.)

Herr Page in Nordamerika hat bekanntlich in neuerer Zeit die Kraft, welche einen Eisenkern in eine elektromagnetische Spirale hineinzieht, im Grossen benutzt, um Bewegungen hervorzubringen. Herr Hankel in Leipzig hat dasselbe versucht und das in praktischer Beziehung wichtige Gesetz aufgestellt, dass diese Kraft sich wie das Quadrat der Stromstärke verhält. Auf meine Aufforderung hat Herr Fessel seinerseits das Modell einer Maschine angefertigt, über deren Ausführbarkeit im Grossen ich einstweilen zwar, was die ökonomische

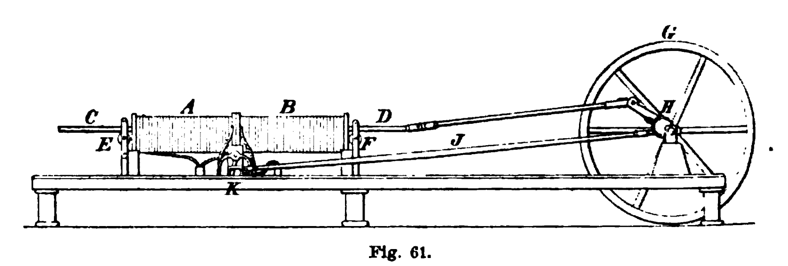


Fig. 61.

Frage betrifft, kein Urtheil habe, die aber als physikalischer Apparat die Anwendung der fraglichen Kraft anschaulich macht und in günstigem Lichte zeigt.

Das Fessel'sche Modell besteht aus zwei horizontal liegenden, an einander stossenden Spiralen A und B (Fig. 61). Durch diese wird der Strom immer in derselben Richtung hindurchgeleitet, aber so, dass er abwechselnd immer nur durch eine derselben geht. Im Innern der Spiralen befindet sich ein Eisenkern, der, indem er abwechselnd in die beiden Spiralen hineingezogen wird und dabei immer dieselbe Polarität behält, sich hin und her bewegt. An den beiden Enden des Eisenkerns sind zwei dünnere Messingstücke C, D eingelassen, die, auf zwei

beweglichen Rollen E und F aufliegend, das Ganze tragen. Die eine dieser Messingstangen setzt das Schwungrad G in Bewegung. Der Commutator K wird durch eine excentrische Scheibe H, an der eine Leitstange J angebracht ist, bewegt. Die excentrische Scheibe ist in gleicher Weise eingerichtet, wie bei den Dampfschiffen, so dass die Maschine vorwärts und rückwärts gehen kann. In einer Modification des Apparates ist die Commutation unmittelbar an der Axe angebracht.

Schon bei Anwendung von zwei kleinen Grove'schen Elementen bewegt sich das Modell mit grosser Geschwindigkeit. Bei Anwendung von sechs solchen Elementen war die Geschwindigkeit so gross, dass eine Zertrümmerung des Apparates zu befürchten stand und ich, bevor die volle Wirkung eintrat, den Strom unterbrechen musste.*)

*) Herr Fessel, der Lehrer an der Provinzial-Gewerbeschule zu Köln und Mechaniker ist, liefert seinen Apparat zu 35 Thaler. Er meldet mir eben vor Abgang dieser Notiz, dass er einen neuen Apparat mit oscillirenden Drahtrollen, den Dampfmaschinen mit oscillirenden Cylindern nachgebildet, beinahe vollendet habe.

46.

Studien über Thermometrie und verwandte Gegenstände.

Von Plücker und Geissler, mitgetheilt von Plücker.

(Annalen der Physik und Chemie, Bd. 86, S. 238—279, 1852.)

§ 1.

Ueber Thermometer, welche in Beziehung auf die Ausdehnung des Glases compensirt sind.

1) Der Gedanke liegt nahe und ist auch nicht neu, eine Glaskugel oder einen Glascylinder theilweise mit Quecksilber zu füllen, um die Ausdehnung des Glases durch die viel stärkere Ausdehnung des Quecksilbers zu compensiren. Der nicht mit Quecksilber angefüllte Raum bleibt alsdann, wie auch die Temperatur sich ändern mag, constant, wobei nur vorausgesetzt werden muss, dass die Ausdehnungcoëfficienten für Glas sowohl, als für Quecksilber, für die Temperaturen, innerhalb welcher wir beobachten, dieselben bleiben.

2) Die Construction der compensirten Thermometer, welche auf meine Veranlassung Herr Geissler hierselbst angefertigt hat, ist indess in wesentlichen Punkten eine eigenthümliche.

Erstens. Zur Anfertigung seiner schönen Thermometer nimmt Herr Geissler überhaupt nicht die gewöhnlichen Thermometerröhren mit dicker Wandung, sondern zieht zu diesem Zwecke selbst Haarröhrchen aus. Von diesen wählt er solche Stücke, die in Folge einer sorgfältigen Calibrirung vermittelst Quecksilber sich in ihrer ganzen Länge als gleich weit erweisen, oder deren unvermeidliche kleine Ungleichheiten bei grösserer Länge nach bekannter Methode durch die Theilmaschine sich corrigiren lassen. Diese schmilzt er an den das Quecksilber aufnehmenden Cylinder an. An denselben Cylinder wird eine weitere, das Haarröhrchen umschliessende Glasröhre angeschmolzen, welche die Scale trägt. Diese ist von weisslichem, durchscheinendem Milchglase, und auf ihr liegt das Haarröhrchen unmittelbar auf. Das

Ablesen des Standes des Quecksilbers in dem Haarröhrchen wird hierdurch sehr bequem und ohne besondere Vorsicht sehr genau.

3) *Zweitens.* Die Flüssigkeit, welche in den constanten Raum über das zur Compensation dienende Quecksilber gebracht wird, und deren wahre Ausdehnung unmittelbar abgelesen werden soll, steigt nicht selbst in die Capillarröhre, sondern drückt, da diese Röhre mit ihrem unteren Ende (*e*) bis nahe auf den Grund in das Quecksilber hineintaucht, nur auf dieses, so dass dasselbe, wenn die Flüssigkeit in Folge der zunehmenden Temperatur sich ausdehnt, in der Capillarröhre ansteigt. Man überzeugt sich bald von dem Vorzuge dieser, von Herrn Geissler herrührenden Einrichtung, nach welcher statt des Standes einer leicht verdunstenden und die Röhre benetzenden Flüssigkeit der Stand des Quecksilbers beobachtet wird.

Um zu verhindern, dass das zur Compensation dienende Quecksilber in dem Cylinder herumgeworfen werde, und die Flüssigkeit oberhalb desselben in das Haarröhrchen dringe, befindet sich dasselbe in einem besonderen Cylinder, der innerhalb des bereits erwähnten angebracht ist und bloss an seinem oberen Theile mit diesem durch eine feine Oeffnung (*s*) in Verbindung steht. Ein Blick auf Fig. 62 macht die ganze Einrichtung sogleich klar.

4) *Drittens.* Bei der in Rede stehenden Compensation wird nur die Ausdehnung des Quecksilbers als bekannt vorausgesetzt. Die Ausdehnung des Gefässes, welche von einer Glassorte zur anderen und, in geringerem Maasse, von einer Form des Gefässes zur anderen sich ändert, wird nicht ein für alle Mal aus der linearen Ausdehnung der angewandten Glassorte abgeleitet, sondern für jedes besondere Instrument auf directem Wege bestimmt. Nachdem zu diesem Ende zuvor schon bei der Calibrirung der Capillarröhre das Gewicht des Quecksilbers, welches eine an einer willkürlichen gläsernen Scale gemessene Länge dieser Röhre bei einer bestimmten Temperatur füllte, gewogen worden ist, wird nun erstlich die Quecksilbermenge bestimmt, die bei 0° den ganzen Apparat und die Capillarröhre bis zu einem bezeichneten Punkte ihres unteren Endes füllt, und dann ferner die Menge desjenigen Quecksilbers, das über diesen Punkt steigt, wenn der Apparat in eine während längerer Zeit constante Temperatur gebracht wird. Es bedient sich bei diesen Abwägungen Herr Geissler einer seiner Glaswaagen, die noch für 0,1 mgr einen sehr merklichen Ausschlag geben.

Fig. 62.

Nennen wir das Gewicht der ganzen Quecksilbersäule G, das Gewicht der über den bezeichneten Punkt ansteigenden g und die entsprechende Temperatur t, den Ausdehnungscoëfficienten des Quecksilbers für einen Centesimalgrad q, und endlich das Gewicht des zur Compensation nothwendigen Quecksilbers x, so ergiebt sich unmittelbar

$$(G - x)tq = g$$

und hieraus

$$x = G - \frac{g}{tq}.$$

Nebenbei erhalten wir, wenn die scheinbare Ausdehnung des Quecksilbers in dem Glascylinder durch p und die cubische Ausdehnung des inneren Raumes dieses Cylinders durch r bezeichnet wird,

$$p = \frac{g}{tG},$$

$$r = q - p.$$

5) Um g zu bestimmen, wurde der Cylinder des Apparates in Wasser getaucht, welches in fortwährender Bewegung erhalten wurde, und dessen Temperatur, an einem feinen Normalthermometer gemessen, längere Zeit constant blieb und eine solche war, die das Quecksilber bis nahe an das Ende der Capillarröhre trieb. Das Steigen des Quecksilbers wurde in Theilen der willkürlichen Scale zugleich mit der Temperatur t^0 beobachtet, und daraus der Werth von g abgeleitet. Bei dieser Ableitung war auf die Temperatur keine Rücksicht zu nehmen, wenn die Capillarröhre und das in derselben befindliche Quecksilber nahe dieselbe Temperatur als bei der vorhergegangenen Calibrirung hatten.

Neben dieser Bestimmungsweise wurde bei den späteren Apparaten eine andere ausschliesslich oder gleichzeitig angewendet, welche namentlich bei sehr empfindlichen Apparaten, welche nur wenig Grade umfassen, mehr Sicherheit giebt. Nachdem auf dem Haarröhrchen der feste Punkt bezeichnet, wurde der Cylinder in die constante Siedhitze des Wassers gebracht, und das Quecksilber, welches auslief, gewogen, und so, nach naheliegenden unbedeutenden Correctionen, der Werth von g für $t = 100$ gefunden.

Nachdem der einer bestimmten Temperatur t^0 entsprechende Werth von g gefunden worden war, wurde das Quecksilber wieder herausgetrieben, und diejenige Menge desselben (x), welche zur Compensation dient, abgewogen, in den inneren Cylinder durch die Capillarröhre hineingebracht, und diese dann zugeschmolzen. Dann wurde eine kurze Röhre (m), welche seitwärts an den äusseren Cylinder angeschmolzen

und in ein langes Haarröhrchen ausgezogen worden war, geöffnet, und der constante vom Quecksilber übrig gelassene Raum mit derjenigen Flüssigkeit, deren wahre Ausdehnung beobachtet werden sollte, gefüllt. War diese Flüssigkeit z. B. Wasser, so wurde dasselbe längere Zeit in dem Apparate gekocht, dann der Apparat, während fortdauernd das zur Füllung dienende Haarröhrchen in Wasser eintauchte, in schmelzenden Schnee gebracht. Wenn die Quecksilbersäule alsdann den bezeichneten Stand hatte, wurde das Haarröhrchen in (m) abgeschmolzen.

6) Schliesslich wurde die willkürliche Scale durch eine andere ersetzt, deren Nullpunkt der bezeichnete Punkt war, und deren Theile $\frac{1}{100000}$ des compensirten Volumens ($V - x$) betrugen. In analoger Weise, wie Réaumur seine Thermometergrade dadurch bestimmte, dass sie der scheinbaren Ausdehnung von $\frac{1}{1000}$ des in der Glaskugel eingeschlossenen Alkohols entsprachen, so entsprechen die Theile unserer Scale der wahren Ausdehnung von $\frac{1}{100000}$ der den compensirten Raum einnehmenden Flüssigkeit. Füllen wir insbesondere den Apparat ganz mit Quecksilber, so beträgt hiernach ein gewöhnlicher Centesimalgrad etwas mehr als 18 unserer Theile.

§ 2.

Ueber die Ausdehnung des Wassers in der Nähe seiner grössten Dichtigkeit.

7) Die im vorigen Paragraphen beschriebenen, in Beziehung auf die Ausdehnung des Glases compensirten Thermometer geben unmittelbar die Ausdehnung der in den constanten Raum oberhalb des Quecksilbers gebrachten Flüssigkeit. Die beiden ersten dieser Apparate wurden mit ausgekochtem destillirtem Wasser gefüllt und gaben innerhalb weiterer Temperaturgrenzen die Ausdehnung des Wassers durch blosses Ablesen bis auf $\frac{1}{100000}$ übereinstimmend. Um diese Uebereinstimmung, wie befriedigend sie auch war, noch grösser zu machen, traten uns anfänglich praktische Schwierigkeiten entgegen. Diese wurden aber beseitigt, und so entstanden zwei neue, etwas modificirte Apparate, an welchen jeder Scalentheil eine Ausdehnung von $\frac{1}{1000000}$ des Volumens bei 0^0 unmittelbar angab und so gross war, dass noch Zehntel desselben bequem geschätzt werden konnten. Indem diese Apparate die Ausdehnung des Wassers von -4^0 bis $+12^0$, den

Grenztemperaturen, die beobachtet werden können, bis auf $\frac{1}{1000000}$ übereinstimmend anzeigen, legen sie von der Genauigkeit, mit welcher Herr Geissler seine Bestimmungen ausgeführt hat, das beste Zeugniss

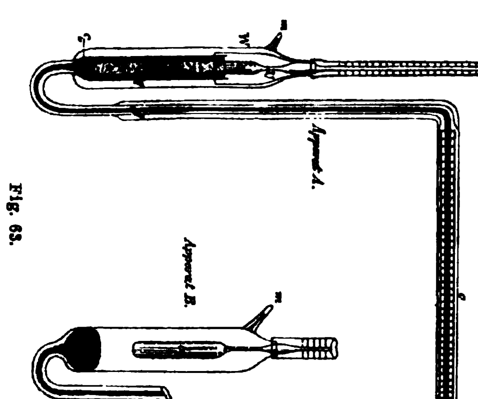


Fig. 63.

ab. Ich meinerseits fand darin die Aufforderung, die Ausdehnung des Wassers nochmals zu bestimmen: eine Arbeit, die ich bei dem besonderen Interesse, das die Ausdehnung des Wassers, namentlich in der Nähe seiner grössten Dichtigkeit, bietet, auch nach den bereits vorliegenden sorgfältigen Arbeiten über denselben Gegenstand nicht für werthlos halte.

8) Die bezeichneten Schwierigkeiten bestanden *erstens* in der Capillarwirkung zu enger Röhren, *zweitens* in der Langsamkeit und Ungleichmässigkeit, mit welcher das Wasser, namentlich in der Nähe seiner grössten Dichtigkeit, die Temperatur seiner Umgebung annimmt, und *drittens* in der verschiedenen Compression, welche die steigende Quecksilbersäule auf die eingeschlossenen Flüssigkeiten und durch diese auf die innere Wandung des Glasgefässes ausübt.

Was den ersten Punkt, die Capillarität betrifft, so stellte sich heraus, dass die angewandten Röhren nicht viel feiner genommen werden durften. Eine Capillarröhre, welche Milliontel abzulesen gestattete, während der constante mit Wasser gefüllte Raum nicht grösser war, als dass er nicht ganz 10 gr. Quecksilber fasste, gab einen merklich verschiedenen Stand der Quecksilbersäule, je nachdem diese gestiegen oder gesunken war, und dieser liess sich auch nicht durch Erschütterung der Röhre auf einen festen Stand bringen. Eine grössere Genauigkeit konnte daher nur durch grössere Dimensionen des Behälters erreicht werden. Hierbei erschien es aber, mit Rücksicht auf die zweite Schwierigkeit, nothwendig, ein Thermometer in den Behälter selbst hineinzubringen, welches die Temperatur des sich ausdehnenden Wassers direct anzeigte. In dem zuletzt angefertigten Apparate (*A*, Fig. 63) befindet sich das Thermo-

meter (a), dessen Behälter die Form eines langen dünnen Cylinders hat, innerhalb eines zweiten, oben offenen Cylinders (V), umgeben von dem zur Compensation dienenden Quecksilber. Dieser zweite Cylinder wird einerseits ganz von dem Wasser, dessen Ausdehnung beobachtet werden soll, umgeben und ist, damit das in demselben befindliche Quecksilber nicht umher geworfen werde, mit einer gläsernen, cylinderförmigen Kappe U bedeckt, welche mit dem oberen Halse des äusseren Cylinders W zusammengeschmolzen ist.

Auf diese Weise wird eine gleichmässigere Erwärmung dieses Wassers durch die bessere Leitungsfähigkeit des Quecksilbers erreicht, und die Temperatur sicherer bestimmt, als wenn, wie bei dem Apparate (B), Fig. 63, das Thermometer (b) bis zu einer bestimmten Tiefe in das Wasser hineinreicht, und das Quecksilber den unteren Raum des Behälters einnimmt.

9) Drittens ist es von vorne herein klar, dass das Ansteigen der Quecksilbersäule eine Zusammendrückung des Wassers und des Quecksilbers in dem Glasbehälter, sowie eine Ausdehnung des letzteren hervorbringen muss, und dass in Folge dieser übereinstimmenden Wirkung bei höherem Stande der Quecksilbersäule die Ausdehnung des Wassers durch die Wärme zu niedrig abgelesen wird. Der hauptsächlichste Theil dieser Wirkung kommt auf die Zusammendrückbarkeit des Wassers, und diesen können wir in der Voraussetzung, dass die Capillarität den Druck der Quecksilbersäule bei jedem Stande derselben in constanter Weise modificirt, direct bestimmen. Setzen wir nämlich für einen Atmosphärendruck die Zusammendrückbarkeit des Wassers gleich 0,000048 des Volumens bei 0°, so erhalten wir für jedes Ansteigen unserer Säule um 100^{mm} eine Verminderung des Volumens von 6,52 unserer Scalentheile, was für die ganze Länge unserer Scalen die Correction bis auf 20 Theile (20 Milliontel des Volumens bei 0°) bringen würde.

Um die Richtigkeit unserer Voraussetzung zu bestätigen, brauchen wir nur der Röhre, in welcher das Quecksilber ansteigt, bei unveränderter Temperatur verschiedene Neigung zu geben. Bestimmen wir den Nullpunkt bei verticaler Lage, so steigt derselbe, wenn wir die Röhre in die horizontale Lage bringen, um eine Anzahl von Theilen, die wir h nennen wollen. Bestimmen wir hiernach den Stand der Quecksilbersäule bei irgend einer höheren Temperatur in verticaler Lage und neigen dann wie vorhin, so steigt die Quecksilbersäule wiederum um eine bestimmte Anzahl von Theilen, diese sei k. Alsdann ergiebt sich als Correction des verticalen Standes für jeden Theil $\frac{k-h}{k}$, für jeden

abgelesenen Stand M also $M\left(\frac{k-h}{k}\right)$.[1]) Hierbei wird von demjenigen Stande des Wassers, wie er bei 0° und verticalem Stande stattfindet, als dem ursprünglichen ausgegangen.*)

Die vorstehende theoretische Bestimmung verlangt eine experimentale Bestätigung. Wir haben diese einstweilen dadurch beseitigt, dass wir an unseren Apparaten die Röhre, in welcher das Quecksilber ansteigt, umgebogen haben, und immer in horizontaler Lage beobachten.

10) Unbeachtet darf hiernach auch die Veränderung des Druckes auf das freie Ende der Quecksilbersäule nicht bleiben. Bei der horizontalen Lage derselben wäre es nicht rathsam, diesen Druck durch Luftleermachen der Röhre ganz fortzuschaffen; denn alsdann wäre die Cohäsion des Quecksilbers die einzige Kraft, welche den Faden desselben zurückführte. Wir könnten die Röhren oben offen lassen, dann bestände die Veränderung bloss in den Schwankungen des Barometerstandes. Statt dessen ist an unseren Apparaten ein grösserer Behälter (u) angeschmolzen, gross genug, damit das Vorrücken der Quecksilbersäule keine merkliche Compression der eingeschlossenen Luft hervorbringe. Diese Luft ist verdünnt, damit die steigende Temperatur den absoluten Druck derselben weniger vermehre. Eine desfallsige Correction ist für die später mitzutheilenden Beobachtungen nicht erforderlich.

11) Nur über die Bestimmung des Apparates A füge ich einige ausführlichere Bemerkungen bei. Nachdem der Apparat so weit vollendet war, dass nur noch in d das calibrirte Haarröhrchen angesetzt, und dieses mit einer anzuschmelzenden weiteren Glasröhre umgeben und mit einer Scale versehen zu werden brauchte, wurde der ganze innere Raum mit Quecksilber gefüllt und ausgekocht. Dann wurde die feine Oeffnung (m) zugeschmolzen, und der Apparat in Schnee gestellt, während das in den unteren Theil des Cylinders mündende Haarröhrchen cd mit seinem oberen Ende d so lange in Quecksilber eintauchte, bis der Apparat die Temperatur vollständig angenommen hatte. In siedendes Wasser gebracht, lief dann aus d eine gewisse Quecksilbermenge aus, deren Gewicht (g) bestimmt wurde. Der Apparat wurde hierauf nochmals in Schnee gebracht, wieder vollständig bei 0° gefüllt, und

*) Wenn bei verschiedenen Apparaten die Haarröhrchen, in welchen das Quecksilber in Folge der Ausdehnung des Wassers ansteigt, gleich weit sind, so müssen dieselben, welches auch ihr constanter Rauminhalt sein möge, in verticaler Lage (sowie in horizontaler) übereinstimmend gehen. Dann ist nämlich $\frac{k-h}{k}$ für alle Apparate gleich, und also die Correction dieselbe.

die vorige Operation wiederholt. Es ergab sich hierbei

$$\begin{array}{rl} g = & 4{,}1087 \text{ g} \\ = & 4{,}1092 \text{ „} \\ \hline \text{Mittel} = & 4{,}1090 \text{ g.} \end{array}$$

Die Temperatur, bei welcher das Wasser siedete, wurde durch ein Barothermometer, dessen Grade in 200 Theile getheilt waren, zu

$$99{,}92^0$$

bestimmt. Auf $t = 100$ reducirt, ergiebt sich hiernach

$$g = 4{,}1123 \text{ gr.}$$

Das Quecksilber wurde hierauf vollständig wieder aus dem Apparate hinausgetrieben, und das Gewicht G derjenigen Quecksilbermenge, welche denselben bei 0^0 füllte, bestimmt. Es fand sich

$$G = 268{,}4853 \text{ gr.}$$

(Die Wägung war einigermaassen und für unsere Zwecke vollständig durch eine frühere controllirt, indem eine bestimmte Menge Quecksilber ursprünglich gewogen und wieder gewogen wurde, nachdem aus ihr der Apparat gefüllt worden war. Aber bei der Füllung gingen einige Tropfen Quecksilber verloren, die zu 0,2 gr. geschätzt wurden. Das Gewicht derselben ist aber von dem gefundenen Werthe

$$G = 268{,}705 \text{ gr.}$$

abzuziehen.)

Für den Ausdehnungscoëfficienten des Quecksilbers wurde nach **Regnault** angenommen

$$q = 0{,}00018153,$$

und hiernach gab die Rechnung für den constanten Raum $(G - x)$ und für das zur Compensation erforderliche Quecksilber x:

$$G - x = \frac{g}{100 \cdot q} = 226{,}536 \text{ gr.}$$

$$x = 41{,}949 \text{ gr.}$$

Der Inhalt des in d anzublasenden Haarröhrchens, das sich in Gemässheit der Calibrirung als überall gleich weit erwiesen hatte, wurde ebenfalls zwei Mal bestimmt. Es wogen, an einer willkürlichen Scale gemessen,

1156	Theile	Quecksilber	0,1122 gr.
808	„	„	0,07838 „

Dieses giebt auf jeden Theil

$$\begin{array}{rl} & 0{,}00009706 \\ & 0{,}000097005 \\ \hline \text{Mittel} & 0{,}00009703. \end{array}$$

Da jeder Theil der anzufertigenden Scale $\frac{1}{1000000}$ des constanten Volumens $(G - x)$ anzeigen soll, so kommt auf ihn*)

$$0{,}000226536$$

Quecksilber, und somit ist das Verhältniss der Theile dieser und der willkürlichen Scale

$$\lambda = \frac{226536}{97030} = 2{,}3553.$$

Da endlich 100^{mm} gleich 342 Theilen der willkürlichen Scale sind, so ist hiernach jeder Theil der Scale unseres Apparates gleich

$$0{,}689^{mm}.$$

12) Die oben bestimmte zur Compensation erforderliche Quecksilbermenge (x) wurde durch die Oeffnung bei d in den zu ihrer Aufnahme bestimmten Cylinder V hineingebracht, das calibrirte Haarröhrchen dz, so wie die dasselbe umgebende weitere Röhre angeschmolzen, und, nachdem beide Röhren zusammen umgebogen, in letztere die willkürliche Scale hineingesteckt. Dann wurde durch den kleinen Ansatz m, der wieder zu einem feinen Haarröhrchen ausgezogen wurde, der Apparat mit Wasser gefüllt, dieses Wasser längere Zeit hindurch gekocht, und endlich, bei gehöriger Wiedererkaltung, die Spitze aus dem Wasser herausgezogen und zugeschmolzen. Der Apparat musste so oft von Neuem geöffnet und nach Hineinlassung oder Herauslassung von Wasser vermittelst schicklicher Aenderung der Temperatur wieder zugeschmolzen werden, bis nach Erkaltung auf 0^0 das Quecksilber etwa bei 0 stand. Dann war der Nullpunkt der Scale, welche die willkürliche schliesslich ersetzte, und somit die Scale selbst vollkommen bestimmt. Sie erstreckte sich von -15 bis $+40$. Das Thermometer a ist in $^1/_{50}$ Grade getheilt und lässt Hundertel Grade mit Sicherheit ablesen. Es geht von $-4{,}5^0$ bis $+14^0$.

13) Die Bestimmung des Apparates B ergab bei gleicher Bezeichnung:

$$\begin{aligned} g &= 5{,}1589 \text{ gr.} \\ G &= 336{,}123 \text{ „} \\ G - x &= 284{,}190 \text{ „} \\ x &= 51{,}933 \text{ „} \end{aligned}$$

und

$$\lambda = 2{,}2157.$$

*) [Im Original steht 0,00226536, dementsprechend $\lambda = 23{,}553$ und die Länge des Scalentheils $= 6{,}89^{mm}$; ebenso ist der Werth von λ für den Apparat B zehn Mal zu gross angegeben.]

14) Bei den Beobachtungen, die mit den Apparaten *A* und *B* angestellt wurden, kam es hauptsächlich auf eine genaue Temperaturbestimmung an. Zu diesem Ende wurde eine Bütte, 440^{mm} weit, 300^{mm} tief, mit Wasser angefüllt, und dieses durch eine schickliche Vorrichtung in fortwährender Bewegung erhalten, wodurch namentlich eine Mischung der verschiedenen horizontalen Schichten erreicht wurde. Ausser den beiden genannten Apparaten, die auf einem Brettchen sich so befestigen liessen, dass die Scale immer genau dieselbe horizontale Lage annahm, tauchten noch zwei Thermometer in das Wasser ein. Diese beiden Thermometer, von welchen das eine in 0,01, das zweite in 0,04 Grade getheilt war, gingen unter einander und mit dem Thermometer *a* des Apparates *A* bis auf 0,01^{0} genau überein.

Es war leicht, wenn die Temperatur der Umgebung nicht zu sehr von der Temperatur des Wassers abwich, diese eine Viertelstunde lang und länger constant zu erhalten. Die Beobachtungen wurden gemacht, wenn diese Constanz erreicht war, und dann erst, wenn das Thermometer *a* anzeigte, dass auch das Wasser des Apparates *A* dieselbe Temperatur angenommen hatte. Durchgehends war die Uebereinstimmung des inneren und der beiden äusseren Thermometer eine vollständige. Niemals betrug der Unterschied mehr als 0,01^{0}; war ein solcher vorhanden, so wurde die Temperatur, die das erstgenannte Thermometer (*a*) anzeigte, als die richtige genommen. Leider war das Thermometer (*b*) des Apparates *B* unbrauchbar geworden und konnte nicht, ohne den ganzen Apparat von Neuem zu bestimmen, wieder in Stand gesetzt werden. Es waren aber die beiden Apparate *A* und *B* dicht neben einander gleichmässig ins Wasser eingesenkt, und wenn auch der Apparat *B* in der Annahme der Temperatur etwas zurückblieb, so konnte dieses durchgehends doch nur eine verschwindende Grösse sein.

15) Es versteht sich von selbst, dass auf die Verrückung des Nullpunktes bei allen Apparaten fortwährend Rücksicht genommen worden ist. Sie blieben so viel als möglich während der ganzen Zeit, dass die Versuche dauerten, in Wasser eingetaucht, und es wurde vermieden, diesem plötzlich eine andere Temperatur zu geben. Es stellte sich hierbei auffallender Weise heraus, dass der Nullpunkt des Thermometers *a* seit der Anfertigung des Apparates bis mehrere Monate nachher auch nicht um 0,01^{0} hinaufrückte. Dagegen veränderte sich das Glas des äusseren Cylinders des Apparates *A* wie gewöhnlich, wodurch der Nullpunkt der horizontalen Scale fortwährend stieg. Dieses Steigen des Nullpunktes erwies sich — der Apparat war seit zwei bis drei Wochen geblasen und gefüllt — während der Versuchswoche als ziem-

lich regelmässig und betrug täglich 0,5 Theile unserer Scale, das heisst, wenn der ganze Apparat mit Quecksilber gefüllt gewesen wäre, $\frac{1}{363}$ Centesimalgrad.

16) In jeder der sieben angestellten Beobachtungsreihen waren die Temperaturgrenzen, innerhalb welcher beobachtet wurde, wenig von einander entfernt. Die stufenweise Erhöhung oder Erniedrigung der Temperatur des Wassers in der Bütte bewirkten wir dadurch, dass grössere Mengen desselben durch nur um wenig wärmeres oder um wenig kälteres Wasser ersetzt wurden. Das Wetter zur Zeit der Beobachtungen gestattete, die Temperatur der Umgebung passend zu wählen. Ich habe die Versuchsreihen nach der zum Theil durch die Umstände bestimmten Aufeinanderfolge, in der sie angestellt wurden, bezeichnet; ich theile sie in dem Nachstehenden ohne irgend eine Correction, als die durch die Verrückung der Nullpunkte gebotene, nach den Temperaturen geordnet, mit.

Beobachtungsreihe IV.

Die Bütte mit Wasser wurde für die tieferen Temperaturen durch eine 250^{mm} weite und 300^{mm} tiefe mit Alkohol angefüllte Glasglocke ersetzt, und der Alkohol in derselben in fortwährender Bewegung gehalten. Anfänglich wurde die Glocke mit den beiden Apparaten A und B und einem Thermometer ins Freie gestellt. Der Alkohol nahm eine immer tiefere Temperatur an, die zuletzt sehr langsam sank und ein Minimum erreichte, das sich längere Zeit erhielt. Hier wurden die ersten Beobachtungen gemacht; vorher aber, bei etwa $-3{,}60^{0}$, gefror ein Theil des Wassers in dem Apparate B, wobei das Quecksilber mit grosser Gewalt in den Behälter drang, welcher der Capillarröhre angeschmolzen war. Der Apparat B wurde herausgenommen und erst später, nachdem die Temperatur gestiegen war, wieder eingesetzt. Aus dem Freien wurde die Glocke mit den Apparaten in eine ungeheizte Stube mit offenen Fenstern gebracht, deren Temperatur durch allmähliges Schliessen der letzteren stieg. Der kalte Alkohol wurde bei den späteren Bestimmungen theilweise durch Alkohol von 0^{0} ersetzt, und auf diesem Wege ergaben sich auf längere Zeit constante Temperaturen. Nach längeren Intervallen wurde einige Mal bei nahe liegenden Temperaturen beobachtet, und dann das Mittel genommen.

Thermometer *a*	Apparat *A*	Apparat *B*	Bemerkungen.
— 3,87°	+ 386,5		Aeussere Temperatur — 4° bis — 3,9°. Die Beobachtungen wurden in umgekehrter Ordnung gemacht.
3,82	379,5		
3,76	372,5		
3,74	368,5		
3,72	364,5		
3,70	362,5		
3,68	359,5		
3,64	354,5		
Mittel			
— 3,74	368,5		
— 3,02°	+ 274,5		Aeussere Temp. — 3° bis — 2,7°.
2,84	252,5		
2,77	246,5	+ 244	Der Apparat *B* hatte die Temperatur noch nicht ganz angenommen.
Mittel			
— 2,88	254,3		
— 2,28°	+ 191,5	+ 191	Aeussere Temperatur — 2,3°.
2,26	190	190	
Mittel			
— 2,27	190,7	190,5 *	* Hier ist ein offenbarer Ablesungsfehler von 10 Theilen corrigirt.
— 1,95°	+ 158	+ 158	
— 1,36	103,5	104	
— 1,34	102	102	
Mittel aus den	beiden letzten	Bestimmungen	
— 1,35°	+ 102,7	+ 103	
— 0,93°	+ 64,5	+ 66	Aeussere Temperatur — 0,46°.
— 0,87	63,5	64	
Mittel			
— 0,90	64	65	
— 0,48°	+ 33,5	+ 34,5	Aeussere Temperatur — 0,06°.

Beobachtungsreihe VII.

Thermometer *a*	Apparat *A*	Apparat *B*	Bemerkungen.
0°	0	0	
+ 0,55	— 33	— 32,5	Alle folgenden Bestimmungen in der grossen Wasserbütte.
1,00	55,5	54,4	
1,54	76,7	76,5	
2,00	91,8	91,5	
2,60	105	105,5	
3,00	111,5	111,5	

Beobachtungsreihe I.

Thermometer *a*	Apparat *A*	Apparat *B*	Bemerkungen.
+ 2,60°	— 104,5	— 104,5	Die Beobachtungen dieser Reihe wurden in umgekehrter Ordnung angestellt.
2,79	107,8	108,6	

Thermometer a	Apparat A	Apparat B	Bemerkungen.
+ 2,99°	— 110,5	— 110,8	
3,195	112,6	113,1	
3,40	113,7	114,6	
3,60	114,1	115,6	
3,80	114,3	115,5	
4,00	114,3	115,5	
	Beobachtungsreihe II.		
+ 4,00°	— 114,2	— 114,0	
4,20	113,6	113,8	
4,40	111,8	111,6	
4,60	109,5	109,5	
4,80	106,5	107,0	
5,02	103,2	103,0	
5,21	99,3	99,6	
5,41	94,0	94,5	
	Beobachtungsreihe VI.		
+ 5,02°	— 103,2	— 103,6	Die Beobachtungen dieser Reihe wurden in umgekehrter Ordnung gemacht.
5,52	91,5	92,7	
6,02	78,5	77,5	
6,52	57,5	58,0	
7,02	35,9	35,8	
	Beobachtungsreihe III.		
+ 7,00°	— 36	— 36,9	
7,21	— 25,1	— 25,5	
7,40	— 15	— 15,7	
7,60	— 5	— 4,8	
7,81	+ 7	+ 7,1	
8,015	+ 19	+ 18,7	
8,22	+ 33	+ 32,2	
8,41	+ 46	+ 45,2	
	Beobachtungsreihe V.		
+ 8,42°	+ 46,5	+ 46,5	
9,02	88,5	88,0	
9,52	128,7	129,0	
10,02	171,5	171,3	
10,52	217,5	217,5	
11,02	268,2	266,2	Die Röhre des Apparates B hörte auf calibrirt zu sein.
11,52	320,3	—	
11,90	366,5	—	

17) Nach längerer Zeit wurden nachträglich noch zwei Bestimmungen wiederholt. Die erste betraf die Temperatur Δ, bei welcher das Wasser wieder genau dieselbe Dichtigkeit annimmt, die es bei 0°

hat. Nach der Beobachtungsreihe III. liegt der Werth von $\varDelta$ zwischen 7,60 und 7,81, und wir finden, wenn wir interpoliren, übereinstimmend für beide Apparate A und B,

$$\varDelta = 7{,}69.$$

Die neuen mit dem Apparate A angestellten Beobachtungen ergaben

Thermometer a	Apparat A
+ 7,94°	+ 15
7,72	+ 3,5
7,50	— 7

wobei die unmittelbar darauf gemachte Correction des Nullpunktes aufgenommen ist. Interpoliren wir, so kommt

$$\varDelta = 7{,}65.$$

18) Die zweite Bestimmung betraf die grösste Dichtigkeit. Es ergab sich

Thermometer a	Apparat A	Apparat B
3,70°	— 116	— 115
3,83	— 116	
3,96	— 116	

Diese Bestimmung wurde in etwas modificirter Weise gemacht. Wenn man nämlich die Glasröhre mit der Scale des Apparates A in dem einen oder anderen Sinne um etwa 30° neigt, so kommt die Quecksilbersäule nicht mehr auf den früheren Stand zurück, selbst nicht nach wiederholten Erschütterungen des Apparates. Die unmittelbare Beobachtung gab die folgenden doppelten Ablesungen

— 101,5	— 103,5
— 102	— 103
— 102	— 103.

Aus diesen ist das Mittel genommen worden, welches nach der unmittelbar vorher in gleicher Weise bestimmten Correction des Nullpunktes, die — 13,5 betrug, das vorstehende Resultat gab. Der Apparat B hatte während der ganzen Zeit der Beobachtung seine feste Lage behalten.

Das Mittel aus den beiden früheren und den beiden vorstehenden Bestimmungen

— 114,3 — 115,5 — 116 — 115

giebt der grössten Dichtigkeit entsprechend:

— 115,5.

19) Die kleinen Abweichungen liegen hauptsächlich in der Art, wie die Bestimmungen gemacht wurden. Diese muss vor Allem eine gleichmässige sein. Störend ist ebenfalls die fortwährende Veränderung des Nullpunktes der Scale. Wenn diese nach Jahr und Tag unmerklich geworden sein wird, ist eine Wiederholung der Versuche, namentlich in der Nähe der grössten Dichtigkeit, gewiss erwünscht. Der Vortheil der von uns angewandten Bestimmungsweise liegt hauptsächlich auch darin, dass die Apparate bleiben, die gemachten Beobachtungen in jedem Augenblicke bestätigt und die Fehler durch Vervielfältigung der Beobachtungen so gut wie ganz eliminirt werden können.

20) Die Temperatur der grössten Dichtigkeit ist eine Constante, die aus der Discussion aller Beobachtungen in ihrer Nähe durch Rechnung abgeleitet werden muss; sie kann mit einiger Genauigkeit direct nicht beobachtet werden. Sie scheint nahe bei 3,80° zu liegen; für praktische Zwecke ist hier ein weiterer Spielraum gegeben, unbeschadet der Genauigkeit kann sie auch bei 4° angenommen werden. Um uns hiervon zu überzeugen, können wir in der Nähe des Punktes der grössten Dichtigkeit diejenige Curve, welche die Ausdehnung des Wassers als Function der Temperatur darstellt, annäherungsweise als eine Parabel betrachten, die sich von jenem Punkte aus symmetrisch nach beiden Seiten hin erstreckt, und wir können diese Parabel durch diejenigen beiden Punkte, in welchen die Ausdehnung Null ist, vollständig bestimmen. Nehmen wir Milliontel des Volumens und Hundertel-Grade als Einheiten, so ergiebt sich hiernach für die Gleichung dieser Curve:

$$y^2 = \frac{(383,5)^2}{115,5} \cdot x = 1274x,$$

hieraus berechnet sich für eine Zunahme oder Abnahme der Temperatur der grössten Dichtigkeit von 0,1° eine Aenderung des Volumens von noch nicht 0,1, und für eine Temperaturänderung von 0,35° nach jeder der beiden Seiten hin beträgt diese Aenderung noch keine ganze Einheit.

21) Die vorstehenden Beobachtungen verlangen eine Correction, die darin begründet ist, dass der in Beziehung auf Ausdehnung durch die Wärme compensirte Raum dann nicht mehr vollständig compensirt bleibt, wenn in Folge dieser Ausdehnung ein Theil des Quecksilbers aus dem inneren Behälter herausgetrieben wird. Bezeichnen wir wie bisher das Volumen des Wassers bei 0° durch 1000000, so giebt unsere Scale durch unmittelbare Ablesung für jede Temperatur t^0 die

Volumentheile e, um welche der compensirte Raum sich verändert hat. Der beobachtete Stand e erleidet folglich die Correction $de = eqt$ und wird

$$e(1 + qt).$$

Wir erhalten hiernach

Temperatur t	Ausdehnung e	Correction de
— 3,87°	+ 386,5	— 0,28
0	0	0
+ 4	— 115,5	— 0,08
$\varDelta$	0	0
11,90	+ 366,5	+ 0,78

Die fragliche Correction ist also innerhalb der Grenzen unserer Beobachtungen fast zu vernachlässigen.

22) Wenn wir die Menge des Quecksilbers in unseren Apparaten wie bisher durch x bezeichnen, so giebt, auch wenn diese eine ganz beliebige, nicht die gerade zur Compensation erforderliche ist, der beobachtete Stand für eine bestimmte Temperatur t die Summe der Ausdehnungen des Quecksilbers x und des Wassers $(G - x)$, vermindert um die Ausdehnung des inneren Raumes G. Es ist, indem wir die frühere Bezeichnung beibehalten und überdies die Ausdehnung des Wassers von 0^0 bis t^0 durch W_t bezeichnen:

$$xtq + (G - x) W_t - Gtr = e. \tag{1}$$

In dieser Gleichung können wir die Volumina x, $(G - x)$, G und e durch Quecksilbergewichte ausdrücken, oder auch durch eine beliebige Einheit. Wenn wir für diese letztere insbesondere $\frac{G - x}{1000000}$ nehmen, so wird e in Theilen unserer Scalen unmittelbar abgelesen. Wir wollen die zur Compensation erforderliche Quecksilbermenge durch x' unterscheiden und

$$x' - x = dx$$

setzen, indem wir den Unterschied klein annehmen.

Dann ergiebt sich, wenn der entsprechende Stand durch e' bezeichnet wird,

$$t(x'q - Gr) = 0,$$
$$(G - x') W_t = e'.$$

Die Gleichung (1) geht hiernach in folgende über:

$$e' = e + (tq - W_t)dx$$

und giebt

$$de = (tq - W_t)dx \tag{2}$$

für die Correction des beobachteten Standes e, der einem Fehler dx in

der Bestimmung der zur Compensation dienenden Quecksilbermenge entspricht. Diese Gleichung ergiebt sich unmittelbar, wenn wir die Gleichung (1) differentiiren und dabei e als Function von x betrachten.

23) Der Fehler, welchen wir in der Abwägung von x begehen, kann hier ganz vernachlässigt werden. Die Berechnung des Werthes von x beruht aber auf der Gleichung:

$$G - x = \frac{g}{t} \cdot \frac{1}{q} \tag{3}$$

und hängt von Constanten ab, deren Bestimmung Fehler einschliesst.

Betrachten wir zunächst den Fehler in der Abwägung derjenigen Quecksilbermenge g, die ausfliesst, wenn der ganze mit Quecksilber angefüllte Apparat von 0° bis 100° erwärmt wird, so kommt, wenn wir die vorstehende Gleichung, in der hier $t = 100$ zu setzen ist, in Beziehung auf g differentiiren,

$$dx = -\frac{dg}{100q} = -55{,}08\, dg.$$

Die doppelte Abwägung hat uns die Sicherheit gegeben, dass

$$dg < 0{,}001 \text{ gr.}$$

oder in unseren Einheiten ausgedrückt und abgesehen vom Zeichen,

$$\text{für den Apparat } A < 4{,}41 \left(= \frac{1}{0{,}226531}\right),$$

$$\text{„ „ „ } B < 3{,}87 \left(= \frac{1}{0{,}284190}\right).$$

Der entsprechende Fehler in der Bestimmung von x ergiebt sich hiernach bezüglich

$$dx < 243\,,$$
$$dx < 213\,.$$

24) Ferner machen wir einen Fehler in der Bestimmung des Fundamentalabstandes. Differentiiren wir hiernach die Gleichung (3) in Beziehung auf t, so kommt

$$dx = \frac{g}{tq}\frac{dt}{t} = (G - x)\frac{dt}{t} = 10000\,dt,$$

also für einen Fehler von 0,01°, den wir wahrscheinlich nicht machen:

$$dx = 100.$$

Innerhalb unserer Beobachtungsgrenzen finden wir

t	$(tq - W_t)$
− 3,87°	− 0,001089
0	0
+ 4	+ 0,000611
7,83	0,001421
11,90	0,001793.

Bei den *höchsten* von uns beobachteten Temperaturen, wo auch die Beobachtungsfehler am grössten sind, ist hiernach für einen Fehler von 0,01° bei der Bestimmung der Siedetemperatur der Beobachtungsfehler de für beide Apparate

$$0{,}1793;$$

für den grössten Fehler in der Abwägung von g jedenfalls

für den Apparat $A < 0{,}44$,
„ „ „ $B < 0{,}38$.

Die Genauigkeit unserer Bestimmungen lässt also nichts zu wünschen übrig: unsere Apparate geben, richtig abgelesen, Milliontel der Ausdehnung des Wassers mit Sicherheit an.

25) Eine letzte Fehlerquelle liegt endlich in der Bestimmung des Ausdehnungscoëfficienten des Quecksilbers. Wir haben nach Regnault

$$q = 0{,}00018153$$

gesetzt. Dulong und Petit hatten

$$q = 0{,}00018018$$

gefunden, wonach

$$dq = -0{,}00000135,$$

wenn wir vom ersten Werthe zum zweiten übergehen.

Vermittelst des Werthes von q erhalten wir den Ausdehnungscoëfficienten r für den inneren Raum unserer Apparate, nachdem wir zuvörderst den Coëfficienten der scheinbaren Ausdehnung des Quecksilbers in diesem Raume bestimmt haben. Nach den Formeln:

$$p = \frac{g}{Gt} \quad r = q - p$$

finden wir:

	p	r
Apparat A	0,00015317	0,00002836
„ B	0,00015348	0,00002805.

Wenn wir den Fehler der Abwägung von g mit Einschluss des Fehlers der Temperaturbestimmung gleich 0,001 gr. setzen, so hat dieser Fehler nur auf die letzte Decimale einen Einfluss. Die scheinbare Ausdehnung würde dadurch nämlich in den beiden Apparaten bezüglich um

$$\frac{1}{4112} \text{ und } \frac{1}{5159}$$

geändert. Wir können daher den Fehler als nicht vorhanden ansehen; somit ist

$$dr = dq,$$

wonach der Fehler in der Bestimmung von q *sich unmittelbar auf die Bestimmung von r überträgt.*

26) Differentiiren wir den Werth von e (1) vollständig in Beziehung auf q, indem wir berücksichtigen, dass auch x Function von q ist, so kommt

$$de = td\,(xq) - W_t dx.$$

Es giebt aber die Gleichung (3)

$$dx = \frac{g}{100q} \cdot \frac{dq}{q} = (G - x)\frac{dq}{q}$$
$$= 5508000000\,dq$$
$$d\,(xq) = Gdq,$$

und wenn wir diese Werthe in die letzte Gleichung einsetzen:

$$de = (Gt - 5508000000\,W_t)dq$$
$$= \left(\frac{G}{G-x} \cdot t - 5508\,W_t\right) 1000000\,dq.$$

Es ist ferner

$$1000000\,W_t = e$$

und

$$\frac{G}{G-x} = \frac{q}{p} = 1{,}184.$$

Bei der Evaluirung des letzten Ausdrucks haben wir die Ausdehnung des Glases unserer beiden Apparate gleich vorausgesetzt und für p den mittleren Werth genommen. Es kommt hiernach, indem wir

$$dq = 0{,}000001$$

nehmen,

$$de = 1{,}184 \cdot t - 0{,}005508\,e.$$

Es ergiebt sich innerhalb unserer Beobachtungsgrenzen bei der Ausdehnung des Glases unserer Apparate

t	de	$-1{,}35\,de$
— 3,87°	— 6,71	+ 9,06
0	0	0
+ 4	+ 4,54	— 6,14
+ 7,66	+ 9,08	— 12,26
+ 11,52	+ 11,86	— 16,01
+ 11,90	+ 12,07	— 16,30

Wir ersehen hieraus, wie eine geringe Aenderung des angenommenen Ausdehnungscoëfficienten des Quecksilbers oder, was ganz auf dasselbe hinausläuft, eine gleiche Aenderung des Ausdehnungscoëfficienten des Glases, erhebliche Abweichungen in der Bestimmung der Ausdehnung des Wassers hervorbringt, Abweichungen, die unvergleichlich grösser sind, als diejenigen, welche den Fehlern in der Bestimmung unserer Apparate und den Fehlern unserer Beobachtungen entsprechen.

27) Wir haben früher denjenigen Werth von t, bei welchem das Wasser wiederum dasjenige Volumen einnimmt, welches es bei 0° hatte, durch $\varDelta$ bezeichnet. Dieser Werth ändert sich zugleich mit dem für q angenommenen Werth. Um diese Aenderung, $d\varDelta$, zu bestimmen, wollen wir e als Function von t betrachten. Dann können wir aus den Beobachtungen in der Nähe der fraglichen Temperatur den Werth von $\frac{de}{dt}$, welcher dieser Temperatur entspricht, bestimmen, oder diesen Werth auch aus der graphischen Darstellung dieser Function durch Messung ableiten. Wir wollen, für unseren nächsten Zweck mit ausreichender Annäherung,

$$\frac{de}{dt}(t = \varDelta) = 55$$

setzen. Dann ergiebt sich, wie wir leicht einsehen,

$$d\varDelta = -\frac{de}{55} = -0{,}01818 \cdot de.$$

Da die Temperatur der grössten Dichtigkeit annäherungsweise durch die Hälfte des Werthes von $\varDelta$ angezeigt wird, so finden wir für die Aenderung derselben auch nahe die Hälfte von $d\varDelta$, also

$$-0{,}00909 \cdot de.$$

Für

$$dq = 0{,}000001$$

ist hiernach

$$d\varDelta = -0{,}165^0$$

und die Temperatur für das Maximum der Dichtigkeit ändert sich um

$$-0{,}0825^0.$$

Für

$$dq = -0{,}00000135$$

ist

$$d\varDelta = +0{,}223^0.$$

Die Temperatur für das Maximum der Dichtigkeit des Wassers steigt also unter der Annahme der älteren Ausdehnungscoëfficienten des Quecksilbers um

$$0{,}11^0.$$

28) Ein zufälliger Umstand bietet uns die Gelegenheit, die vorstehenden Resultate der Rechnung der Prüfung durch die Beobachtung zu unterwerfen. Die zuerst angefertigten Apparate, von der in Fig. 62 dargestellten Form, waren unter Zugrundelegung des von Dulong und Petit gefundenen Ausdehnungscoëfficienten

$$q = 0{,}00018018$$

bestimmt worden. Dahin gehörten die beiden zu Anfang dieses Paragraphen erwähnten, übereinstimmend gehenden Apparate. Für diese

ergab sich unter Beibehaltung der bisherigen Bezeichnung:

Apparat I.

$$g = 0{,}3584 \text{ gr.}$$
$$G = 23{,}375 \text{ „}$$
$$G - x = 19{,}8917 \text{ „}$$
$$x = 3{,}483 \text{ „}$$

und

$$\lambda = 1{,}274 \text{ „}$$

Apparat II.

$$g = 0{,}3166 \text{ gr.}$$
$$G = 20{,}630 \text{ „}$$
$$G - x = 17{,}5728 \text{ „}$$
$$x = 3{,}057 \text{ „}$$

und

$$\lambda = 2{,}596 \text{ „}$$

Der Apparat II. wurde in dieselbe Bütte, in welcher die Apparate A und B eingesenkt waren, durch seitwärts angebrachte Oeffnungen in einer Korkfassung so eingesteckt, dass die Scalen in horizontaler Lage auswendig abgelesen werden konnten. In derselben Lage wurde der Nullpunkt der Scale bestimmt, der sich (der Apparat war etwa sechs Monate alt) im Laufe einer Woche nicht merklich änderte. Der Gang dieses Apparates (sowie zweier anderer III. und IV., die gleichmässig eingesteckt waren) sollte, zum Behuf späterer Bestimmungen, mit dem Gange der Apparate A und B verglichen werden, und darum waren sämmtliche Apparate gleichzeitig beobachtet worden. Die vollständigen Versuchsreihen hier mitzutheilen, hätte keine Bedeutung; ich entnehme für unseren Zweck nachstehend nur einige Bestimmungen.

t	Apparat A e	Apparat II. e berechnet	Apparat II. e beobachtet	Fehler
Grösste Dichtigkeit	— 115,5	— 121,6	— 121	+ 0,6
7,69°	0	+ 12,14	+ 13	+ 0,6
11,52	+ 320,5	+ 304,5	+ 300	— 4,5

Apparat A Δ	Apparat II. Δ berechnet	Apparat II. Δ beobachtet	Fehler
7,69°	7,912°	7,96°	+ 0,048°

Die Fehler sind sämmtlich als verschwindend klein zu betrachten, indem wir berücksichtigen, dass am Apparat II. die Milliontel des Volumens des Wassers bei 0° nur geschätzt werden konnten.

29) Die letzten Erörterungen erklären grossentheils die bedeutenden Abweichungen in der Bestimmung der Ausdehnung des Wassers aus Fehlern, die in dem angenommenen Ausdehnungscoëfficienten des Glases gemacht worden sind. Wir finden sogar unzweifelhafte Abweichungen in der Ausdehnung des inneren Raumes der aus derselben Glasröhre angefertigten Apparate, woraus folgt, dass wir selbst dann einen, wenn auch kleinen Fehler begehen, wenn wir die cubische Ausdehnung von Glasbehältern aus der linearen der Röhren, die das Material dazu geliefert haben, ableiten. Unsere Röhren, alle von derselben Glassorte, sind aus derselben Hütte in Thüringen bezogen. Wir haben für den Coëfficienten der scheinbaren Ausdehnung des Quecksilbers in den Glasbehältern verschiedener Apparate, die überall in gleicher Weise und mit gleicher Genauigkeit bestimmt worden ist, die nachstehenden Werthe gefunden:

	0,00015333	(App. I.)
	0,00015348	(„ II.)
	0,00015306	(„ III.)
	0,00015365	(„ IV.)
	0,00015356	
	0,00015338	
	0,0001544	
	0,0001541	
	0,00015316	} *)
	0,00015304	} *)
	0,00015317	(*A*)
	0,00015348	(*B*)
	0,00015260	} **)
	0,00015477	} **)
	0,00015226	} **)
	0,00015224	} **)
Mittel	0,000153355	

Die Abweichungen betragen 0,0000025, und ebenso viel betragen die Schwankungen in der cubischen Ausdehnung der von uns angewendeten Glassorte. Wir ersehen hieraus die Nothwendigkeit, für jeden Apparat den Ausdehnungscoëfficienten *besonders* zu bestimmen. Den obigen

*) Zwei Apparate, um die Ausdehnung von Flüssigkeiten und Gasen durch das Auslaufen von Quecksilber zu bestimmen. Beide aus derselben Glasröhre angefertigt.

**) Vier Eisapparate (siehe den folgenden Paragraphen); die beiden letzteren aus derselben Röhre und von fast gleicher Ausdehnung.

Fehlergrenzen entsprechen in der Bestimmung der grössten Dichtigkeit und der zugehörigen Temperatur bezüglich 11,35 Theile und 0,206°.

30) Viel grösser aber sind dieselben Schwankungen für die verschiedenen gewöhnlichen Glassorten. Als durchschnittlichen Ausdehnungscoëfficienten für die unsrige erhalten wir, den Regnault'schen Werth für q als richtig vorausgesetzt,

$$0{,}00002818.$$

Verglichen mit den von Herrn Regnault für verschiedene Glassorten bestimmten*), giebt er eine verhältnissmässig starke Ausdehnung. Als Grenzen, zwischen welchen die Ausdehnungscoëfficienten schwanken, können wir

$$0{,}000021 \quad \text{und} \quad 0{,}000030$$

annehmen. Wenn wir also, wie es die älteren Experimentatoren thaten, irgend eine sorgfältige Bestimmung der Ausdehnung des Glases auf die gerade angewandte Glassorte ohne Weiteres übertragen, so können wir leicht in der Bestimmung der grössten Dichtigkeit um 40 bis 50 Milliontel und in der Bestimmung von Δ um einen halben Grad fehlen.

31) Die mit dem Apparate A gemachten und oben mitgetheilten Bestimmungen schliessen sich, wenn wir die Beziehung zwischen der Ausdehnung e und der Temperatur t in bekannter Weise graphisch darstellen, einem einzigen Curvenzuge — auch bei Anwendung eines grösseren Maassstabes — ungezwungen an. In der Fig. 1, Taf. IX. sind neben dieser Curve noch zwei andere gezeichnet. Die eine ist die Curve Hällström's, die zweite diejenige, welche den Beobachtungen von Despretz entspricht. Es ist hier meine Absicht nicht, die oben mitgetheilten Beobachtungen zu discutiren. Eben so wenig liegen mir die Originalarbeiten von Hällström und Despretz vor.**) Ich knüpfe daher bloss noch die Bemerkung an, dass durch die Annahme eines Fehlers in dem Ausdehnungscoëfficienten des Glases die Curve des Herrn Despretz, nicht aber die Curve von Hällström, bis auf unbedeutende Unregelmässigkeiten, mit der unsrigen zur Uebereinstimmung gebracht werden kann, und dass nahe in der Mitte zwischen unserer Curve und derjenigen von Despretz diejenige hindurchgeht, die unsere ersten Apparate geben, welche auf Grund des älteren Ausdehnungscoëfficienten für Quecksilber construirt sind.

*) Mémoires de l'Institut 1847.

**) [Hällström, Pogg. Ann. Bd. 1, S. 129—168, 1824. Despretz, Ann. de Chim. et de Phys. (1) Bd. 70, S. 24 und Pogg. Ann. Bd. 62, S. 284, 1844.]

§ 3.

Bestimmung des Ausdehnungscoëfficienten des Wassers beim Gefrieren und des Ausdehnungscoëfficienten des Eises.

32) Zu denjenigen Constanten, welche in der allgemeinen Physik eine grössere Bedeutung haben, gehört ohne Zweifel auch der Ausdehnungscoëfficient des Wassers im Momente des Festwerdens. Eine mit aller Sorgfalt ausgeführte Bestimmung desselben schien mir daher besonders wünschenswerth. An diese Bestimmung knüpft sich eine zweite, die Bestimmung des Ausdehnungscoëfficienten des Eises. Der Apparat (Fig. 64), welcher zu beiden Zwecken diente, ist nach gemeinsamer Besprechung von Herrn Geissler in folgender Weise ausgeführt worden.

33) Der innere Cylinder M, welcher zur Aufnahme des Wassers bestimmt war, war unten offen und etwas verengt; tief in denselben hineinreichend, war am oberen Ende ein Haarröhrchen eingeschmolzen, das auch durch den äusseren Cylinder N hindurchging und den inneren M trug. Am unteren Theile des äusseren Cylinders war eine enge Röhre angeschmolzen und dann umgebogen worden. Sie ging bis zum Punkte o. Der ganze innere Inhalt wurde mit Quecksilber gefüllt, und dieses zum Austreiben aller Luft längere Zeit gekocht. Nachdem der Apparat dann in Eis gebracht worden, wurde das Gewicht des Quecksilbers bei 0° bestimmt (G), und endlich, während er in siedendem Wasser sich befand, das auslaufende Quecksilber (g) gewogen. Um den Cylinder M mit Wasser zu füllen, wurde die Oeffnung bei o geschlossen und an das Haarröhrchen in c eine grössere Glaskugel, die oben in eine Röhre ausgezogen war, angeschmolzen. In diese Kugel wurde destillirtes Wasser gebracht, und nachdem dieses in ihr eine halbe Stunde gekocht hatte, wurde die Spitze der ausgezogenen Röhre zugeschmolzen, so dass über dem Wasser ein luftleerer Raum sich bildete. Hierauf wurden nach der Erkaltung gleichzeitig die eben zugeschmolzene Spitze abgebrochen, und die Röhre bei o geöffnet. Ein Theil des ausgekochten Wassers drang dann durch das Haarröhrchen bei c in den Cylinder M, während Quecksilber bei o ausfloss. Das Gewicht dieses bei 0° ausfliessenden Quecksilbers (W) gab das Volumen des eingedrungenen Wassers. Dieses füllte beinahe den ganzen inneren Cylinder, wobei jedoch das freie Ende e des Haarröhrchens immer noch ins Quecksilber

Fig. 64.

hineinreichte. Die Oeffnung bei o wurde wieder abgesperrt, und nachdem durch gelinde Erwärmung das Wasser aus dem Haarröhrchen durch das nachsteigende Quecksilber verdrängt worden war, wurde die Kugel mit dem noch übrigen Wasser abgeschmolzen, und die Oeffnung bei c geschlossen. Endlich wurde die Steigröhre in o angesetzt, und die Menge des Quecksilbers im Apparate so regulirt, dass es, wenn das Ganze im Eise genau die Temperatur 0° angenommen hatte, in der Röhre bei o stand, und dieser Stand wurde bezeichnet. Die Steigröhre selbst war aus zwei Theilen zusammengesetzt. Der obere Theil war eine engere Röhre, die sich bei der Calibrirung überall gleich weit erwiesen hatte. Der untere Theil hatte in d eine Erweiterung. Diese, sowie die Weite des oberen Theiles, wurden — auf Grund einer vorläufigen Bestimmung vermittelst eines ähnlichen mit einer weiteren Steigröhre versehenen Apparates — so bestimmt, dass das Wasser, nachdem es gefroren, bei der Temperatur von 0° das Quecksilber bis in den oberen Theil der Röhre, nach h, hinaufdrückte, und dass die Quecksilbersäule bei einer Erkältung des Apparates bis — 25° noch nicht bis zur Erweiterung bei d heruntersank.

34) Es wurden zuerst zwei Apparate, a und b, in der beschriebenen Weise hergestellt. Der Versuch gelang; nur wurden wir erst bei Anstellung desselben darauf aufmerksam, dass bei der Bestimmung der Ausdehnung und Zusammenziehung des Eises ein nicht mehr genau zu corrigirender Fehler dadurch entstehen musste, dass statt der einzigen Erweiterung vier verschiedene Erweiterungen an verschiedenen Stellen der Steigröhre angebracht waren, und die Hälfte derselben der tiefen Temperatur nicht ausgesetzt werden konnte. Es wurden daher noch zwei neue Apparate c und d angefertigt, und der bezeichnete Uebelstand vermieden. Die mit diesen vier Apparaten gemachten Bestimmungen finden wir in dem Nachstehenden zusammengestellt.

35) Bei einer Lufttemperatur von 0° wurde in ein leeres Standgefäss auf Watte ein weiterer Glascylinder, und in diesen ein zweiter, welcher Alkohol enthielt, gestellt, und zwischen die beiden Cylinder schichtweise gestossenes Eis und Chlorcalcium gebracht. In den auf diese Weise abgekühlten Alkohol wurde der Eisapparat eingesenkt, wobei dem in demselben enthaltenen Wasser von allen Seiten regelmässig Wärme entzogen wurde, und dasselbe unter 0° erkaltete. Der Anfang der Eisbildung kündigte sich durch ein plötzliches Steigen des Quecksilbers an, wobei offenbar eine grössere Menge des Wassers, indem die Temperatur stieg, plötzlich in Eis sich verwandelte.*) Von

*) Wasser, das in einem Glasbehälter eingeschlossen wurde, gefriert bei sehr

diesem Momente an schritt die Eisbildung, angezeigt durch das fortwährende Steigen des Quecksilbers, regelmässig fort, der Menge der dem noch übrigen Wasser entzogenen Wärme entsprechend. Das Zerplatzen des inneren Cylinders erfolgte erst später, nachdem etwa neun Zehntel des Wassers gefroren waren. Dasselbe kündigte sich dadurch an, dass man durch das Quecksilber hindurch einen hellen Klang hörte und zugleich die Quecksilbersäule in Folge eines Stosses ansteigen sah.*) Dieser Klang und das gleichzeitige ruckweise Ansteigen wiederholte sich fortwährend, aber schwächer, fast so lange als das Gefrieren fortdauerte. Der innere, dünne Glascylinder erhielt offenbar immer neue Sprünge. Nachdem die Quecksilbersäule zuletzt sehr unregelmässige Schwankungen gemacht, wurde der Stand ein fester und blieb, indem der Alkohol in steter Bewegung erhalten wurde, einige Zeit hindurch ein solcher. Die Temperatur wurde durch ein gleichzeitig mit dem Eisapparate in den Alkohol gesenktes Thermometer bestimmt, wobei kleine Fehler allerdings nicht vermieden werden konnten.

36) Der Stand des Quecksilbers in dem ersten Eisapparate wurde

---

verschiedener Temperatur. Als Bedingung, dass diese Temperatur eine sehr niedrige sei, giebt man gewöhnlich die vollkommene Ruhe der Wassertheilchen gegen einander an. Ich meinerseits glaube, dass dieselbe mehr noch in einer gleichmässigen Erkaltung der ganzen Wassermasse zu suchen sei, und darin, dass die innere Wandung keine, die Eisbildung befördernde, leichter erkaltende Erhabenheiten darbiete. Während das Wasser im Apparate *B* bei — 3,60° gefror (16.), blieb es im Apparate *A*, wo die Erkaltung offenbar viel regelmässiger vor sich ging, bei einer tieferen Temperatur noch flüssig. Am Apparate II. (Fig. 63) wurde die Erkaltung des Wassers bis unter — 8° beobachtet, wobei der Cylinder desselben in Alkohol eingetaucht, und dieser der freien Winterkälte ausgesetzt war; der Apparat wurde fortwährend bewegt, und hierbei auch durch die Bewegung eines Quecksilberkügelchens, das am Boden sich befand, die Wassertheilchen gegen einander verrückt. Der Apparat gefror hierbei nicht. Ebenso wenig gefror das Wasser in einem ähnlichen Apparate bei einer gleichen, durch Schwefeläther hervorgebrachten Erkältung des Cylinders, wobei das Wasser sich um 1300 Milliontel ausdehnte. Als aber in demselben Apparat der innere Cylinder abgebrochen und herabgefallen, und das Quecksilber theilweise in den äusseren Cylinder ausgeschüttet war, gefror das Wasser und zwar in sehr constanter Weise bei einer Temperatur von etwa — 4°, angezeigt durch eine Ausdehnung von 400 Milliontel. Endlich zersprang ein Apparat, der in eine Kältemischung eingetaucht wurde, als bei einer Ausdehnung von nahe 1800 Milliontel (bei etwa — 12°) die Eisbildung eintrat. Die Gefahr des Zerspringens ist offenbar um so grösser, je schwieriger Wasser entweichen kann, und je tiefer das Wasser vor dem Gefrieren erkaltet war.

*) Bei dem Apparate (*d*) war die Gewalt dieses Stosses so gross, dass Quecksilber aus der Erweiterung bei *d* in den oberen Theil der längeren Röhre hineindrang und durch den Druck der dadurch abgesperrten Luft herausgeschleudert wurde.

beobachtet, nachdem die Temperatur des Alkohols ein Minimum geworden war. Dann wurde der zweite Apparat eingesenkt, während der erste in Schnee gestellt wurde, wo dann die Quecksilbersäule bis zu einem constanten Punkte k anstieg, der wie der frühere Stand bezeichnet wurde. (Es wurde hierzu wohl eine halbe Stunde erfordert, was auf die schlechte Leitungsfähigkeit des Eises hindeutet. Bei den kleinen Abweichungen in solchen Beobachtungen ist der frühere Stand der richtigere. Nachdem der Apparat zuletzt mehrere Stunden in Eis gestanden, sank das Quecksilber merklich unter den höchsten Stand herab: einen Anfang des Aufthauens anzeigend.) Ebenso wurde der zweite Apparat behandelt, und dann wurden beide Apparate, ohne dass in der Zwischenzeit ein Aufthauen stattfand, mehrmals von Neuem eingesenkt und bei weniger niedriger Temperatur beobachtet.

Endlich liess man die beiden Apparate aufthauen und brachte sie in schmelzenden Schnee, wo dann genau der frühere Nullpunkt sich wiederfand.

Dasselbe Verfahren wurde später mit den beiden Apparaten (c) und (d) wiederholt. Bei dem letzteren fand sich zuletzt der Nullpunkt tiefer als vorher.

Schliesslich wurden die Steigröhren unter o abgeschnitten, und die verschiedenen Inhaltsbestimmungen vermittelst Quecksilber vorgenommen.

37) In den nachfolgenden Zusammenstellungen bedeutet G das ganze innere Volumen, W das Volumen des Wassers und Q das Volumen des Quecksilbers. Alle Volumina sind bei 0° genommen und durch das Gewicht des sie ausfüllenden Quecksilbers ausgedrückt. g bedeutet die Menge desjenigen Quecksilbers, welches bei einer Erwärmung von 0° auf 100° aus dem ganz mit Quecksilber angefüllten Apparate ausfliesst, w die Ausdehnung des Wassers von 0° bei dem Gefrieren zu Eis von 0°, t die Temperatur, welche das Eis bei den verschiedenen Bestimmungen unter 0° annimmt, l die Anzahl der Scalentheile, um welche die Quecksilbersäule bei dieser Erkaltung unter den höchsten Stand heruntersinkt. Diese Anzahl entspricht einem Quecksilbergewichte k, das sich aus der Calibrirung des oberen Theiles der Röhren ergiebt. Die angewandte Scale ist eine willkürliche, 342 ihrer Theile finden sich gleich 100^{mm}.

Aus diesen Daten berechnet sich der Ausdehnungscoëfficient des Wassers beim Gefrieren $f = \frac{w}{W}$, der Coëfficient der scheinbaren Ausdehnung des Quecksilbers $p = \frac{g}{100 \cdot G}$, und der der cubischen Ausdeh-

nung des Glases $r = q - p$; ferner die wirkliche Ausdehnung oder Zusammenziehung des Eises für eine Erwärmung oder Erkaltung von einem Grade

$$\lambda = \frac{k}{t} - Qq + Gr,$$

und endlich der Ausdehnungscoëfficient des Eises

$$e = \frac{\lambda}{W + w}.$$

Hierbei ist vorausgesetzt, dass die ganze Quecksilbermasse der beobachteten Temperatur ausgesetzt bleibe. Nimmt das über den Nullpunkt bei dem Gefrieren tretende Quecksilber später die constante Temperatur von 0° der Umgebung an, so muss Q durch $Q' = Q - w$ ersetzt werden, wonach λ und e ihren Werth in λ' und e' ändern.

38) Apparat (a).

433 Scalentheile der oberen Röhre wiegen 0,3620 gr.

G = 102,724 gr.
W = 51,500 „
Q = 51,224 „
g = 1,590 „
w = 4,733 „

t	l	k
− 24,1°	433	0,3620 gr.
16,1	280	0,2340 „
12,6	225	0,1881 „
9,1	159,5	0,13335 „
7,0	125	0,1045 „

Hieraus ergiebt sich

p = 0,00015477
r = 0,00002676
$\frac{k}{t}$ = 0,01502
= 0,01453
= 0,01493
= 0,01465
= 0,01493

Mittel $\frac{k}{t}$ = 0,01481
Gr = 0,00274
Qq = 0,00929
$Q'q$ = 0,00844

λ = 0,00826
λ' = 0,00911

e = 0,000147
e' = 0,000162

Mittel = 0,0001545

Endlich ist

$$f = 0{,}09192.$$

39) Apparat (b).

499 Scalentheile wiegen 0,1947 gr.

$G = 71{,}52$ gr.
$W = 40{,}27$ „
$Q = 31{,}25$ „
$g = 1{,}0914$ „
$w = 3{,}7037$ „

t	l	k
$t = -19{,}4^0$	$l = 499$	$k = 0{,}1947$ gr.
18,6	482	0,18807 „
17,7	462	0,18026 „
12,6	318	0,12407 „
7,1	175	0,06828 „

Hieraus ergiebt sich

$p = 0{,}00015260$
$r = 0{,}00002893$
$\frac{k}{t} = 0{,}01004$ gr.
$= 0{,}01011$ „
$= 0{,}01018$ „
$= 0{,}00984$ „
$= 0{,}00962$ „

Mittel $\frac{k}{t} = 0{,}00995$ gr.

$Gr = 0{,}00207$ gr.
$Qq = 0{,}00567$ „
$Q'q = 0{,}00500$ „

$\lambda = 0{,}00635$ gr.
$\lambda' = 0{,}00702$ „

$c = 0{,}000145$ gr.
$c' = 0{,}000161$ „

Mittel $= 0{,}000153$ gr.

Endlich ist

$$f = 0{,}09197.$$

40) Apparat (c).

877 Scalentheile wiegen 0,2660 gr.

$G = 75{,}700$ gr.
$W = 51{,}8155$ „

$$Q = 23{,}8845 \text{ gr.}$$
$$g = 1{,}1526 \text{ „}$$
$$w = 4{,}7903 \text{ „}$$

$t =$	$l =$	$k =$
$-20{,}1^0$	647	. . . . .*)
14,1	489	0,14820
11,5	399	0,12102
8,7	305	0,09251
7,1	254	0,07704.

Hieraus ergiebt sich

$$p = 0{,}00015226$$
$$r = 0{,}00002927$$
$$\frac{k}{t} = 0{,}01051 \text{ gr.}$$
$$= 0{,}01052 \text{ „}$$
$$= 0{,}01063 \text{ „}$$
$$= 0{,}01085 \text{ „}$$
$$\text{Mittel } \frac{k}{t} = 0{,}01063 \text{ gr.}$$

$$Gr = 0{,}002216 \text{ gr.}$$
$$Qq = 0{,}004342 \text{ „}$$
$$\lambda = 0{,}008504 \text{ gr.}$$
$$e = 0{,}000156 \text{ „}$$

Endlich ist

$$f = 0{,}09245.$$

41) Apparat (*d*).

485 Scalentheile wiegen 0,2136 gr.

$$G = 68{,}490 \text{ gr., später } 68{,}460 \text{ gr.}$$
$$W = 47{,}826 \text{ „}$$
$$Q = 20{,}635 \text{ „}$$

Der Werth von Q ist bei den bisherigen Apparaten als die Differenz von G und W bestimmt worden, und diese Bestimmung, was nur bei dem Apparate (*c*) nicht möglich war, dadurch controlirt, dass nach der Anstellung der Versuche das in dem Apparate befindliche Quecksilber herausgenommen und direct gewogen wurde. Beim Apparate (*d*) konnte nur diese letzte Bestimmung gelten. Es fand sich, dass der Nullpunkt, nachdem das Eis wieder geschmolzen war, sich gesenkt

*) Diese Bestimmung ist besser nicht zu berücksichtigen, weil sie während bedeutender Schwankungen gemacht und als ungewiss bezeichnet wurde. Die beobachtete Temperatur ist jedenfalls zu tief.

hatte. Durch Calibrirung der an dem früheren Stande fehlenden Strecke ergab sich, dass

$$0{,}030 \text{ gr.}$$

dasjenige Quecksilber wog, welches der Beobachtung zufolge herausgesprungen war. Hiernach geht die Uebereinstimmung in den verschiedenen Abwägungen bis auf 0,001 gr. .

$$g = 1{,}0427 \text{ gr.}$$
$$w = 4{,}4005 \text{ „}$$

$t =$	$l =$	$k =$
$-18{,}4^0$	443	0,19510
17,1	412	0,18144
7,9	160	. . . . .

Die ganze Sorgfalt und längere Zeit war auf die beiden ersten Beobachtungen verwandt worden; die dritte lassen wir ganz fallen, weil sie wahrscheinlich einen Ablesungsfehler in den ganzen Graden enthält.

Hieraus ergiebt sich

$$p = 0{,}00015224$$
$$r = 0{,}00002929$$
$$\frac{k}{t} = 0{,}010603 \text{ gr.}$$
$$= 0{,}010611 \text{ „}$$
$$\text{Mittel } \frac{k}{t} = 0{,}010607 \text{ gr.}$$
$$Gr = 0{,}002006 \text{ „}$$
$$Qq = 0{,}003746 \text{ „}$$
$$\lambda = 0{,}008867 \text{ gr.}$$
$$e = 0{,}000170 \text{ „}$$

Endlich ist

$$f = 0{,}09195.$$

42) Die verschiedenen Werthe für $\frac{k}{t}$, welche wir für verschiedene Temperaturen mit jedem der Apparate erhalten haben, weichen zwar merklich, aber immerhin doch nur wenig von einander ab, und diese Abweichungen vertheilen sich so, dass wir sie Beobachtungsfehlern in den Temperaturbestimmungen zuschreiben können und müssen, wonach wir zu dem Schlusse berechtigt sind, dass, sobald einmal das Wasser in Eis übergegangen ist, dieses sich regelmässig zusammenzieht und wieder ausdehnt.

43) Um constante Beobachtungsfehler zu vermeiden, haben wir so viel als möglich dafür Sorge getragen, dass, bevor eine Beobachtung gemacht wurde, die Temperatur um die beobachtete hin und her schwankte. Berechnen wir die Beobachtungsfehler in den Tempera-

turen für die einzelnen Bestimmungen nach dem mittleren Werthe von $\frac{k}{t}$, so finden wir die folgende Zusammenstellung:

Apparat (a).

Temperatur	Fehler
$= -24{,}1^0$	$= +0{,}34^0$
16,1	$-0{,}30$
12,6	$+0{,}10$
9,1	$-0{,}10$
7,0	$+0{,}6$.

Apparat (b).

Temperatur	Fehler
$= -19{,}4^0$	$= +0{,}16^0$
18,6	$+0{,}28$
17,7	$+0{,}38$
12,6	$-0{,}11$
7,1	$-0{,}24$

Apparat (c).

Temperatur	Fehler
$= -14{,}1^0$	$= -0{,}15^0$
11,5	$-0{,}12$
8,7	0
7,1	$+0{,}15$.

Die beiden einzigen Beobachtungen am Apparate (d) stimmen überein.

44) Für die grössten Abweichungen in dem Werthe von $\frac{k}{t}$, die sich auf λ und λ' unmittelbar übertragen, ergiebt sich, dass $\frac{1}{2}(e + e')$ für den Apparat (a) zwischen

$$0{,}000149 \quad \text{und} \quad 0{,}000158$$

für den Apparat (b) zwischen

$$0{,}000145 \quad \text{und} \quad 0{,}000156$$

schwankt, sowie endlich der Werth von e für den Apparat (c) zwischen

$$0{,}000154 \quad \text{und} \quad 0{,}000160.$$

Es ist nicht unwahrscheinlich, dass bei den beiden einzigen Beobachtungen mit dem Apparate (d) ein constanter Fehler sich eingeschlichen habe. Diese Vermuthung wird dadurch noch unterstützt, dass fast mit Gewissheit anzunehmen ist, dass bei der verworfenen Beobachtung $7{,}9^0$ statt $6{,}9^0$ abgelesen wurde. Dann würde für diese Beobachtung λ um 0,00040 grösser, und dem entsprechend fände man

$$e = 0{,}000162.$$

45) Wenn wir die gefundenen Mittelwerthe von c zusammenstellen, so kommt:

0,000155
0,000153
0,000156
0,000170,

und wenn wir hieraus wiederum das Mittel nehmen, finden wir für den *Coëfficienten der cubischen Ausdehnung des Eises, indem wir das Volumen desselben bei 0° zu Grunde legen:*

(I.) $$c = 0{,}0001585.$$

Hiermit stimmt endlich auch derjenige Werth

0,000157,

den wir aus dem vorläufigen Versuche bei — 20° und unter Vermeidung der bei den Apparaten (a) und (b) erwähnten Uebelstände mit aller Sorgfalt, aber unter Anwendung einer weiteren Steigröhre, abgeleitet haben.

Die Uebereinstimmung ist so gross, als sie bei der Unsicherheit in der Bestimmung der tiefen Temperaturen, sowie bei den ungewissen Angaben über die Leitungsfähigkeit des Eises, sich erwarten liess. Nur unter günstigen Umständen, namentlich bei einer bedeutenden Winterkälte, ist eine grössere Genauigkeit erreichbar. Dann könnte man den Apparat im gefrorenen Zustande Tage lang wie ein Thermometer beobachten, und jedes Mal dabei die Temperatur so lange Zeit constant erhalten, dass die Langsamkeit, mit welcher das Eis die umgebende Temperatur annimmt, nicht mehr störend einwirkt.

46) Die durch die Gleichung (I.) bestimmte Ausdehnung des Eises ist grösser als die Ausdehnung der übrigen, genauer untersuchten festen Körper, 6 Mal grösser als die Ausdehnung des Platins, $1^3/_4$ Mal grösser als die Ausdehnung des Zinks, $5^9/_{14}$ Mal grösser als die Ausdehnung unseres Glases.*) Sie übertrifft noch die scheinbare Ausdehnung des Quecksilbers in Glasgefässen und *stimmt mit der Ausdehnung des Wassers überein, wenn dieses eine Temperatur zwischen — 4° und — 5°, oder eine Temperatur von etwa + 13° hat.*

Die frühere Bestimmung der Ausdehnung des Eises, die von Placidus Heinrich herrührt und aus den Schriften der Münchener Akademie in die Lehrbücher übergegangen ist, giebt

$$c = 0{,}00073536.$$

Hiernach wäre die Ausdehnung des Eises $4^2/_3$ Mal grösser als die von

*) Vgl. Brunner, Pogg. Annalen, Bd. 64, S. 113—124. [Derselbe fand $c = 0{,}000113$, der Plücker'sche Werth scheint aber richtiger zu sein.]

uns gefundene, also 26 Mal grösser als die Ausdehnung des Platins, und käme beinahe der Ausdehnung des Weingeistes gleich.

47) Die verschiedenen Werthe, welche wir für den Ausdehnungscoëfficienten des Wassers, wenn es zu Eis von 0^0 gefriert, erhalten haben, sind die folgenden:

0,09192
0,09197
0,09245
0,09195.

Wenn wir von der dritten Bestimmung absehen, so beträgt die grösste Abweichung von dem Mittelwerthe

$$f = 0{,}09195$$

nicht $\frac{1}{3000}$. Zur Ausschliessung dieser Bestimmung, bei welcher die wiederholte Calibrirung der Steigröhre genau denselben Inhalt als früher gab, liegt kein anderer Grund vor, als dass wir nicht im Stande waren, die frühere Inhaltsbestimmung des Cylinders — der bei einem nachträglichen Gefrierversuche zerplatzte —, sowie den früheren Nullpunkt zu controliren.

Wir haben versäumt, wozu uns die Versuche allerdings die Gelegenheit boten, annäherungsweise die Zusammendrückbarkeit des Eises zu bestimmen. Wenn diese derjenigen des Wassers gleich ist, so würde die desfallsige Correction des gefundenen Ausdehnungscoëfficienten innerhalb der Beobachtungsfehler fallen und bloss die letzte Decimale um etwa eine Einheit vermehren. Unsere Bestimmungsweise garantirt hiernach, wenn wir uns gegen Ablesungsfehler durch eine wiederholte Bestimmung schützen, die Genauigkeit der Resultate bis auf die genannte Decimale.

48) Das Eis hat also immer genau dieselbe Dichtigkeit, wenigstens dann, wenn es unter denselben Verhältnissen gefroren ist. Dafür, dass dieses geschähe, haben wir bei unseren Versuchen Sorge getragen. Der Cylinder, welcher das Wasser enthielt, war ganz von Quecksilber umgeben, und die Temperatur des Wassers sank namhaft unter 0^0, bevor es zu gefrieren anfing. Bei einer ähnlichen Erstarrung schiessen Nadeln von dem Umfange ausgehend durch die ganze Wassermasse an, und von diesen geht die weitere Eisbildung fort. Es konnte diese bei den Versuchen selbst nicht beobachtet werden. Das Eis wurde erst beim Aufthauen sichtbar, federwolkenartig aussehend, nicht wasserhell, aber doch so durchsichtig, dass man das Haarröhrchen in seiner Mitte ganz deutlich sehen konnte. Das aus dem zerplatzten Apparate (*c*) genommene Eis zeigte sich ganz homogen und consistent.

49) Beim Aufthauen des Eises traten zuletzt, wenn nur noch wenig Eis an dem Haarröhrchen haftete, kleine, nur einem guten Auge sichtbare Bläschen auf, die gleich nachher wieder verschwanden. Offenbar bestätigte sich hierin die bekannte Beobachtung, dass beim Gefrieren auch die letzte Spur von Luft, die vom Wasser absorbirt ist, sich ausscheidet: Luft, die bei unseren Versuchen augenblicklich wieder vom Wasser verschluckt wurde. Aller Sorgfalt ungeachtet, war also noch Luft in unserem Wasser geblieben, freilich in so verschwindender Menge, dass wohl schwerlich unsere Bestimmungen irgendwie davon afficirt werden. Nur im Apparate (*c*) konnten solche Luftbläschen nicht wahrgenommen werden.

50) Die Fig. 2, Taf. IX. veranschaulicht die relative Grösse der Ausdehnung des Wassers in Folge der Erstarrung und der Ausdehnung des Wassers und des Eises durch die Wärme.

Ob Eis, wenn es einerseits sehr langsam und regelmässig oder andererseits bei freiem Luftzutritt krystallisirt, eine andere Ausdehnung erhalte, sind Fragen, welche ausserhalb der Grenzen dieser Arbeit liegen.

47.

Ueber die Reciprocität der elektromagnetischen und magnetoelektrischen Erscheinungen.

(Annalen der Physik und Chemie, Bd. 87, S. 352—386. 1852.)

1) In dem Nachfolgenden theile ich zunächst eine zusammenhängende Gruppe von Versuchen mit, welche zur Unterstützung meiner Auffassungsweise der Reciprocität zwischen den elektromagnetischen und magnetoelektrischen Erscheinungen vor etwa zwei Jahren angestellt worden sind. Die Apparate wurden damals auf dem physikalischen Kabinete und von Herrn Fessel in Köln ausgeführt und sind theilweise, jedoch ohne Angabe ihres vollen Gebrauches (jeder Apparat ist zugleich ein elektromagnetischer und magnetoelektrischer), schon in die Hände der Physiker gekommen. Ich hätte gern diese Mittheilung bis zur vollständigen Reife meiner theoretischen Auffassungsweise zurückgehalten; da aber Herr Faraday neuerdings hierher gehörige Versuche der Royal Society mitgetheilt und auch in einem Vortrage vom 26. Januar d. J. in der Royal Institution, von welchem ein Auszug mir vorliegt, aufgenommen hat, und diese Versuche bereits in den Journalen besprochen werden und die Aufmerksamkeit auf die „unipolare Induction“ des Herrn W. Weber zurückgelenkt haben, so finde ich mich aufgefordert, auch meine frühere Arbeit mitzutheilen. Sie würde indessen ihre Bedeutung verlieren, wenn ich das Theoretische ganz unterdrücken wollte. Man wird aber hierbei eine absichtliche Kürze mir zu Gute halten und in der Vorsicht, mit der ich mich ausgedrückt habe, die Absicht erkennen, dass ich mir das volle Recht, meine Auffassungsweise in Zukunft definitiv zu formuliren, vorbehalte.

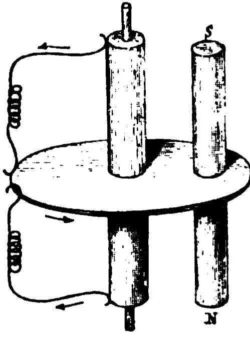


Fig. 65.

§ 1.

Experimentales.

2) Auf die Mitte einer 12^{mm} dicken und 150^{mm} langen kupfernen Axe (Fig. 65) wurde eine Scheibe von Messing von 50^{mm} Durchmesser concentrisch aufgesteckt, welche zur Aufnahme eines runden Magnetstabes, der 96^{mm} lang und 11^{mm} dick war, noch eine zweite Oeffnung hatte, welche etwa in gleicher Entfernung von der mittleren Oeffnung, durch welche die Axe ging, und vom Rande sich befand. Der Magnet wurde mit seiner Mitte in dieser Oeffnung so befestigt, dass er der Axe parallel war. Diese war lang genug, um an einem ihrer hervorragenden Enden eine Rolle aufnehmen zu können, über welche eine Schnur ging, welche das Ganze in rotirende Bewegung versetzte. Während ein Drahtende des Galvanometers mit einer metallischen Feder verbunden war, die an dem frisch amalgamirten Umfange der messingenen Scheibe anlag, war das andere Drahtende in einem der beiden messingenen Axenhalter eingeklemmt, oder federte gegen den Umfang der kupfernen Axe an einem ihrer beiden Enden. Das angewandte Galvanometer hatte eine stark magnetische Doppelnadel (die jedoch nicht astatisch war), und die Anzahl der Windungen des 5^{m} langen und $2{,}5^{mm}$ dicken Kupferdrahtes betrug 30.

3) Bei einer mässig schnellen Drehung des Apparates schlug die Nadel um 30—40 Grade aus. Wenn die Axe und der Magnet hierbei die verticale Lage hatten, wenn der Südpol oben war und der Apparat, von oben angesehen, umgekehrt wie der Zeiger einer Uhr gedreht wurde, so stieg der Strom in der kupfernen Axe von der Mitte zum oberen Ende. Die Richtung des Stromes änderte sich, wenn in entgegengesetzter Richtung gedreht, oder wenn der Magnet umgekehrt in die Messingscheibe eingesteckt wurde. Ein zweiter gleicher und gleich gerichteter Strom wurde durch die Galvanometernadel angezeigt, als das eine Drahtende statt, wie eben angenommen wurde, mit dem oberen Ende der kupfernen Axe, mit dem unteren Ende derselben in leitende Verbindung gebracht wurde.

Bei gleichzeitiger Verbindung desselben Drahtendes mit den beiden Enden der kupfernen Axe erhält man einen doppelten Strom, der von der Mitte dieser Axe nach ihren Enden oder umgekehrt geht.

4) Wenn keine leitende Verbindung zwischen der Mitte und den Enden der kupfernen Axe besteht, so findet in dieser eine elektrische Vertheilung statt, wonach die eine der beiden Elektricitäten in der Mitte, die andere an den beiden Enden auftritt. Unter den zu Anfang

der vorigen Nummer angeführten Verhältnissen sammelt sich in der Mitte die negative, an den beiden Enden die positive Elektricität. Wenn hierbei auch die Nachweisung der elektrischen Vertheilung am Elektrometer durch mich nicht versucht worden ist, so ist dieses doch in analogen Fällen, wie zum Beispiel beim Arago'schen Rotationsmagnetismus, geschehen und daher als unzweifelhaft anzusehen.[1])

5) Ob der Magnet ohne Weiteres oder isolirt in die Messingscheibe gesteckt wurde, machte keinen bemerkbaren Unterschied in der Stärke des Stromes.

6) Bei nicht zu grosser Reibung wird der Apparat in rotirende Bewegung gesetzt durch einen mässigen Strom, der durch die Scheibe von der Mitte zu den Enden der kupfernen Axe, oder umgekehrt geleitet wird. Und zwar bestimmt sich die Richtung der Drehung, wie in analogen Fällen, dadurch, dass sie derjenigen entgegengesetzt ist, welche in den eben beschriebenen Versuchen einen Strom von gleicher Richtung mit dem hier gegebenen hervorbringt.

7) Es wurden ferner zwei hohle Cylinder von dickem Kupferblech (Fig. 66) auf die untere Fläche der Messingscheibe so aufgelöthet, dass ihre Axe mit der Umdrehungsaxe zusammenfiel. Der eine dieser Cylinder hatte denselben Durchmesser als die Scheibe, so dass er die untere Hälfte des Magneten ganz umgab; der Durchmesser des anderen Cylinders (der überdies noch von der Axe isolirt war) war dagegen so klein, dass der Magnet ausserhalb blieb. Wenn man das eine Ende des Galvanometers mit der Scheibe und das andere nach einander mit dem Rande jedes der beiden Cylinder in leitende Verbindung brachte, so wurde, wie früher, ein namhafter Strom, und zwar in *beiden* Fällen bei gleicher Drehung und gleicher Polarität auch von derselben Richtung, hervorgerufen.

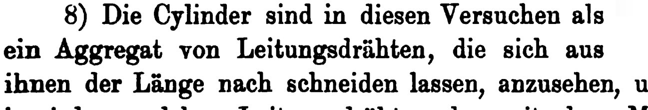


Fig. 66.

8) Die Cylinder sind in diesen Versuchen als ein Aggregat von Leitungsdrähten, die sich aus ihnen der Länge nach schneiden lassen, anzusehen, und somit entsteht in jedem solcher Leitungsdrähte, der mit dem Magneten um eine parallele Axe sich dreht, wenn für Leitung gesorgt ist, nothwendig ein Strom.[2])

9) Die Wirkung der verschiedenen Apparate wurde bedeutend (um das Sechsfache) verstärkt, so dass die Galvanometernadel leicht ganz herumgeworfen werden konnte, als in dieselbe Messingscheibe sechs

gleiche Magnete, deren Pole gleich gerichtet waren, eingesteckt wurden. Zwei Holzscheiben mit sechsfachen Oeffnungen hielten hierbei die sechs Magnete an ihren Enden fest.

10) Wenn bei dem Versuche der 3. Nummer oder dem modificirten der vorigen die Scheibe mit dem Magneten festgehalten und bloss die kupferne Axe gedreht wird, ist kein Strom bemerklich.

11) Ein anscheinend ganz gleicher Strom wie früher zeigte sich aber, als um die ruhende kupferne Axe die Scheibe mit dem Magneten gedreht wurde.

12) Höchst merkwürdig muss es erscheinen, dass bei dem Versuche der 3. Nummer *Magnetpol und Leitungsdraht ihre gegenseitige Lage in keiner Weise ändern.* Stellen wir mit diesem Versuch den Versuch der vorigen Nummer zusammen, wonach die Stromstärke dieselbe ist, gleichviel ob die kupferne Axe sich gleichzeitig mitdreht oder nicht, so ergiebt sich die nachstehende Erklärung in natürlicher Weise.

Wenn durch die Rotation eines Magneten in einem Leitungsdrahte die Bedingung zur Erregung eines Stromes gegeben ist, so kann eine beliebige, dem Leiter gegebene Bewegung (deren Geschwindigkeit gegen die Stromgeschwindigkeit als verschwindend zu betrachten ist), wenn dadurch jene Bedingung nicht gestört wird, durchaus keinen Einfluss auf den Inductionsstrom haben. Eine solche Störung findet namentlich dann nicht statt, wenn der Leiter ein hohler oder massiver Cylinder ist, der um seine Axe rotirt.

Was diese Anschauungsweise noch Unbestimmtes haben mag, wird in den späteren Nummern vollständig verschwinden.

13) In den vorstehenden Versuchen erzeugt die blosse Bewegung des Magnetpols da einen Strom, wo in gehöriger Lage ein Leiter sich vorfindet. Diesen findet der Magnet *in sich selbst*, wenn er allein für sich um seine Axe rotirt. Wir können uns hier unendlich viele magnetische Pole denken, welche rings um die Axe herum vertheilt sind und zusammen den einzigen Pol bilden.

14) Ich machte den ersten Versuch mit einem kleinen runden Magneten von 100^{mm} Länge und 10^{mm} Dicke, gegen welchen ich zwei metallische Federn, die mit den beiden Drahtenden des Galvanometers verbunden waren, drücken und dann den Magneten um seine Axe rotiren liess. Während die eine Feder fortwährend die Mitte berührte, wurde die andere in verschiedenen Entfernungen von derselben angebracht. Das Galvanometer zeigte einen Strom an, der stärker wurde mit der zunehmenden Entfernung, so dass, wenn die zweite Feder den Umfang des Stabes in der Nähe des Poles berührte, die Nadel bei mässiger Drehungsgeschwindigkeit einen namhaften constanten Aus-

schlag gab. Nur wenn die Federn zu beiden Seiten der Mitte in gleicher Entfernung von derselben den Umfang des rotirenden Magneten berührten, gab es niemals einen Strom. Ein grösserer Magnet gab einen viel stärkeren Ausschlag, und es hat keine Schwierigkeit, den anfänglichen Ausschlag bis über 100° zu bringen. Ich liess einen Apparat construiren, um eine bedeutende Umdrehungsgeschwindigkeit hervorbringen und messen zu können, fand hier aber eine Schwierigkeit in dem unregelmässigen Anliegen der Federn, so dass ich eigentliche Maassbestimmungen nicht machen konnte.

15) Um die Richtung der inducirten Ströme, oder wenn kein äusserer Leiter sich vorfindet, die Art der elektrischen Vertheilung bei diesen Versuchen zu bestimmen, wollen wir die Erde als einen rotirenden Magneten betrachten, dessen magnetische Axe mit der Umdrehungsaxe zusammenfällt. Hier tritt alsdann an den beiden Polen die positive, unter dem Aequator die negative Elektricität auf, während eine Indifferenzzone zwischen dem Aequator und jedem der beiden Pole liegt.[3])

16) Wir haben den Fall der Erde hier nur als ein Beispiel angeführt, um uns daran entgegengesetzte Drehungen und entgegengesetzte Polaritäten zu veranschaulichen. Aber auch in der Wirklichkeit muss sich unter dem Aequator und in den Tropengegenden *negative*, an den beiden Polen und in ihrer Nähe *positive* Elektricität ansammeln, deren Spannung nach der gemässigten Zone hin immer mehr abnimmt. Die Frage nach der kosmischen Bedeutung dieser elektrischen Ansammlungen liegt so nahe, dass ich sie nicht ganz unberührt lassen kann Sollte nicht die negative Elektricität in der heissen Zone, von den in Menge aufsteigenden Wasserdünsten getragen, eine reiche Quelle atmosphärischer Elektricität abgeben? Sollte nicht in höheren Breitengraden ebenso, nur der geringeren Verdunstung wegen in schwächerem Maasse, die positive Elektricität in die Luft aufsteigen? Dann müsste freilich die ursprüngliche Elektricität der Wolken in der heissen Zone die negative, in der kalten die positive sein. Sollte nicht die positive Elektricität in der nächsten Umgebung der Pole, wo ihr Dünste als Träger fast gänzlich fehlen, das Nord- und Südlicht erzeugen? Dann würde, wenn wir hier vielleicht eine elektrische Vertheilung in der Atmosphäre annehmen, die positive Elektricität es sein, die in die luftverdünnten Regionen des Nordlichts abgestossen wird.

Es liegt hier indess keineswegs in meiner Absicht, auf eine improvisirte Erklärung über die Entstehung der atmosphärischen Elektricität Gewicht zu legen, viel weniger sie jetzt schon vertreten und die Ansichten Anderer über diesen Gegenstand bestreiten zu wollen.

Ich habe bloss Fragen hingestellt, ohne sie unbedingt zu bejahen, und mich überhaupt mit dem ganzen Rückhalte ausgesprochen, den eine Folgerung aus einem Versuche im Kleinen da überall fordert, wo uns der Maassstab für die wirksamen Kräfte und eine directe Bestätigung noch fehlt.

17) Wenn ein Magnet, von dem wir wieder annehmen wollen, dass er die verticale Stellung habe, sich nicht mehr um seine eigene, sondern um irgend eine andere verticale Axe dreht, eine Umdrehung, die wir eine Libration um diese Axe nennen können, so findet in demselben in gleichem Sinne wie früher eine elektrische Induction statt.

Wenn wir berücksichtigen, dass bei der fraglichen Libration der Magnet während jeder ganzen Umdrehung sich auch um seine eigene Axe einmal herumdreht, so scheinen wir zu dem Schlusse berechtigt, dass auch die Stärke der fraglichen Induction und der durch dieselbe hervorgebrachten Ströme dieselbe ist, wenn sich der Magnet um irgend beliebige Axen, die seinen eigenen parallel sind, mit derselben Winkelgeschwindigkeit dreht.

Der Versuch wurde mit einem Apparate angestellt, der später seine Beschreibung finden wird (21, 23).

18) Der in der 9. Nummer bereits erwähnte Apparat erhielt später die in der Fig. 67 dargestellte Modification. Die kupferne Axe, 12,5^{mm} dick und 235^{mm} lang, wurde horizontal gelegt. Die auf ihrer Mitte angelöthete Scheibe hatte einen etwas breiteren kupfernen Rand, auf welchen zwei in der Mitte desselben zusammenstossende hohle Cylinder, 87^{mm} lang und von 35^{mm} äusserem Durchmesser, der eine [k, in der Figur aufgeschnitten gezeichnet, um die Magnete sichtbar zu machen] von dickem Kupferbleche, der andere [m] von etwas dünnerem Messingbleche, aufgeschoben und befestigt werden konnten. Die sechs in der aufgelötheten Scheibe befestigten Magnete, 5,5^{mm} dick und 160^{mm} lang, waren entweder

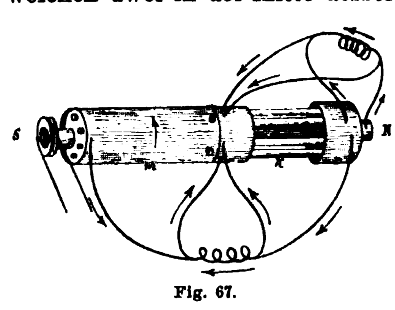


Fig. 67.

1. an ihren Enden frei, oder durch eine aufgeschobene hölzerne Scheibe gehalten, oder

2. sie wurden durch eine metallische Scheibe, welche von der Axe isolirt war, gehalten, oder

3. durch eine metallische Scheibe, welche auf die Axe unmittelbar aufgeschoben wurde und ausser dieser Axe zugleich auch den äusseren Cylinder berührte.

Bei allen Versuchen berührte das eine Drahtende des Galvanometers den Apparat in dessen Mitte (den Rand der mittleren Scheibe oder den aufgesetzten Cylinder). Bei der *ersten* Vorrichtung giebt die Galvanometernadel wie früher den Inductionsstrom in der Axe, wenn diese an ihrem Umfange, den Inductionsstrom in dem aufgesetzten äusseren Cylinder, wenn dieser letztere an seinem äusseren Ende durch das zweite Drahtende berührt wird. In diesem letzteren Falle ist in dem messingenen Cylinder der Inductionsstrom viel schwächer als in dem kupfernen. Um hier thermoelektrische Ströme zu vermeiden (die man von den Inductionsströmen dadurch sogleich unterscheidet, dass sie bei umgekehrter Drehungsrichtung sich nicht umkehren) wurde für das auf den Messingcylinder aufliegende Ende des Leitungsdrahtes ein kurzer angelötheter Messingdraht genommen.

Bei der *zweiten* Vorrichtung erhalten wir die in den sechs Magneten durch ihre Drehung um eine gemeinschaftliche Axe hervorgerufenen Inductionsströme, wenn wir den äusseren Cylinder fortnehmen und den zweiten Galvanometerdraht an den Umfang der aufgeschobenen metallischen Scheibe halten. Bei der *dritten* Vorrichtung endlich erhalten wir die Gesammtwirkung der drei Inductionsströme.

19) Ein starker Inductionsstrom ergiebt sich, wenn man einen dicken kupfernen Cylinder seiner Länge nach mehrfach durchbohrt und in die Durchbohrungen cylindrische Magnete einsteckt, deren gleichnamige Pole gleich gerichtet sind, und wenn dann, während der Cylinder um seine Axe gedreht wird, die Drahtenden des Galvanometers den Umfang desselben in der Mitte und an einem der Enden berühren.

20) Wenn der hohle kupferne Cylinder des Apparates der Fig. 67 abgenommen und über die eine Hälfte der Magnete, ohne sie zu berühren, gehalten wird, und man im Innern desselben diese Magnete rotiren lässt, so zeigt sich *keine Spur von Strom*, wenn die beiden Drahtenden des Galvanometers den Umfang des Cylinders an seinen beiden Enden berühren.

Denken wir uns bei diesem Versuche den hohlen Kupfercylinder aus lauter geradlinigen Streifen bestehend, so beschreibt jeder derselben [der Magnete] bei jeder Umdrehung einen in sich geschlossenen Kreis, der ausserhalb jedes dieser Streifen liegt.

21) Zugleich mit der Rotation eines magnetischen Poles um den Leitungsdraht hat Herr Faraday bald nach der Oersted'schen Entdeckung auch die Rotation des Leitungsdrahtes um den magnetischen Pol gezeigt. Hier weist der Versuch ebenfalls die reciproke Inductionserscheinung nach.

22) In einem ersten Versuche wurde ein hohler Cylinder von

dickem Kupferbleche (Fig. 68), etwa 30^{mm} weit und 150^{mm} lang, mit seinem unteren Ende auf eine Messingscheibe aufgelöthet und mit dieser um seine Axe gedreht, während die Enden des Galvanometerdrahtes an der Scheibe und dem oberen Rande des Cylinders federnd anlagen. Ein Magnetstab wurde mit einer seiner Hälften in den Cylinder concentrisch so hineingehalten, dass keine Berührung stattfand. Das Galvanometer zeigte auch hier einen continuirlichen Strom an, der mit der Drehungsgeschwindigkeit zunahm und sich umkehrte, einmal zugleich mit der Polarität der eingesteckten Hälfte des Magnetstabes, das andere Mal zugleich mit der Drehungsrichtung. Dreht sich der Cylinder umgekehrt wie der Zeiger einer Uhr, deren Zifferblatt nach oben gekehrt ist, und wird das Nordende *(pôle austral)* des Magneten von oben in den Cylinder hineingehalten, so tritt in Folge der Drehung am unten aufstehenden Ende des Cylinders die *positive*, am oberen Ende desselben die *negative* Elektricität auf. Die elektrische Vertheilung und die Richtung des entsprechenden Stromes sind hierbei ganz dieselben, als wenn das Nordende des Magneten nach derselben Richtung um den ruhenden oder mitrotirenden Cylinder sich drehte.

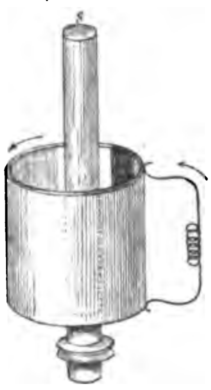
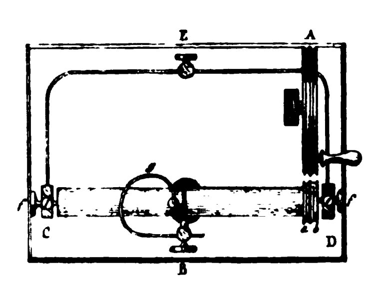


Fig. 68.

23) Denken wir uns den Cylinder aus lauter zusammengefügten verticalen Stäbchen bestehend, so bildet sich in jedem einzelnen dieser Stäbchen ein Strom, und Alles verhält sich hier gerade so, als ob der magnetische Pol um das ruhende Stäbchen einen Kreis beschriebe.

24) Herr Fessel hat dem Apparate eine andere Form gegeben, bei welcher der kupferne Cylinder, welcher auch durch einen oder mehrere Kupferdrähte ersetzt werden kann, um eine horizontale Axe rotirt (Fig. 69). Der Apparat ist so construirt, dass, während in der Mitte der Magnet und der hohle Kupfercylinder sich nicht berühren, 1. der Magnet allein, 2. der kupferne hohle Cylinder allein, 3. beide zugleich um ihre gemeinschaftliche Axe, und endlich 4. beide, Magnet und Cylinder, mit gleicher Geschwindigkeit nach entgegengesetzter Richtung gedreht werden können. Um die Drehung zu bewerkstelligen, ist eine hölzerne



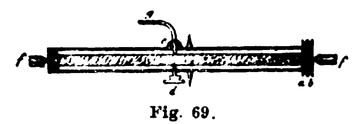


Fig. 69.

Scheibe (*A*) angebracht und diese an ihrem Umfange doppelt eingefurcht: den beiden Furchen entsprechend ist einmal der Cylinder in der Nähe eines seiner Enden (*a*) ebenfalls eingefurcht, das andere Mal eine kleine Scheibe (*b*) auf das entsprechende Ende des Magneten aufgesetzt. Leiten wir eine Schnur über die Scheibe *A* und gleichzeitig entweder über *a* oder über *b*, so drehen sich Magnet und Cylinder in Folge der Reibung beide zugleich. Im ersteren Falle kann aber der Magnet durch Anziehen der Schrauben (*f*) festgeklemmt, im zweiten Falle der Cylinder durch einen von der Säule *B* ausgehenden Kupferdraht (*g*) festgehalten werden. Dieser Draht kann mit seinem freien Ende in eine mit Elfenbein ausgefütterte Oeffnung (*c*) des Cylinders eingesteckt werden, wobei er den rotirenden Magneten entweder nicht berührt oder, wenn er mit der Hand niedergedrückt wird, berührt. Endlich ist noch eine Oeffnung (*d*), der Oeffnung (*c*) gegenüberstehend, angebracht, in welcher, nicht isolirt, ein mit Federkraft gegen den Magneten drückender Draht eingesteckt werden kann, welcher bei jeder beliebigen gegenseitigen Drehung des Magneten und des Kupfercylinders beide in ihrer Mitte leitend verbindet. Wenn man zweier Schnüre, die über *a* und *b* gehen, gleichzeitig sich bedient und eine derselben kreuzt, so bewegen sich Magnet und Cylinder mit gleicher Geschwindigkeit nach entgegengesetzter Richtung.

In der Mitte des Cylinders ist eine Scheibe aufgesetzt, welche in Quecksilber taucht, das vermittelst eines Kupferdrahtes mit der Säule *B* in Verbindung ist. Die Enden der Umdrehungsaxe werden durch die Säulen *C* und *D* getragen und diese können durch einen eingeklemmten Leitungsdraht beide mit der Säule *E* leitend verbunden werden. Bei den Versuchen war das eine Drahtende des Galvanometers beständig in die Säule *B* eingeklemmt, das andere Ende entweder in die Säule *C* oder *D* oder in die Säule *E*, oder sie wurden federnd gegen den Umfang des Cylinders, an einem seiner Enden angedrückt.

In dem Kupfercylinder gab es keinen Inductionsstrom, wenn bloss der Magnet in seinem Innern sich drehte. Wenn der Cylinder gedreht wurde, so hatte der Inductionsstrom in demselben anscheinend gleiche Stärke, gleichviel, ob der Magnet in seinem Innern in Ruhe war, oder nach gleicher oder nach entgegengesetzter Richtung gedreht wurde. Bei mässiger Drehung war der Strom stark genug, der Nadel einen ersten Ausschlag von über 90^0 zu geben, obgleich der Magnet nur 156^{mm} lang und 6^{mm} dick war, und der hohle Kupfercylinder bei 2^{mm} Dicke nur 13^{mm} als äusseren Durchmesser hatte.

Bei Herstellung der leitenden Verbindung in der Mitte summirte

sich der Inductionsstrom in dem Magneten, der auch allein für sich beobachtet werden konnte, zu dem Inductionsstrome in dem ihn umgebenden hohlen Kupfercylinder, oder es ergab sich die Differenz der beiden Ströme, je nachdem Magnet und Cylinder beide nach gleicher oder nach entgegengesetzter Richtung gedreht wurden.

25) Wenn ein magnetischer Pol sich in Gegenwart eines galvanischen Stromes befindet, so ergiebt sich, wenn wir die ganze Kraftäusserung betrachten, ein *Kräftepaar*, welches, wenn Pol und Leitungsdraht dasselbe Trägheitsmoment haben, eine Rotation beider in gleichem Mitte Sinne um eine Axe, die dem Leitungsdrahte parallel ist und in der zwischen demselben und dem magnetischen Pole liegt, erzeugt.[4]) In dem Apparate der Figur 70 ist der Leitungsdraht durch einen zweiten gleichen Magnet ersetzt. Beide Magnete werden in der Mitte durch eine metallische Scheibe (die nach Belieben auch mit ihrem Rande in Quecksilber getaucht werden kann), an den Enden durch zwei metallische Bügel verbunden, in welchen die Axen sich befinden. Leiten wir den Strom eines Grove'schen Elementes von der Scheibe zu einem Ende der Axe oder umgekehrt, so rotiren beide Magnete mit grosser Schnelligkeit um einander. Wenn wir umgekehrt den Apparat in Rotation versetzen und die Enden des Galvanometers mit dem Umfange der Scheibe und einem Ende der Rotationsaxe verbinden, so entsteht ein unerwartet starker Inductionsstrom. Die Richtung desselben lässt sich aus der Bezeichnung der Figur leicht für alle Fälle ableiten.

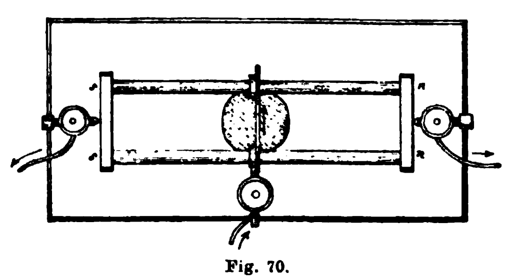


Fig. 70.

26) Die Wirkung bei dem Versuche der vorigen Nummer ist eine complicirte. 1. Jeder Magnet librirt bei jeder Umdrehung um die gemeinsame Axe, 2. jeder derselben rotirt um den anderen und hierbei ist jeder derselben eigentlich als Magnetpol zu betrachten, der um den anderen als Leiter, und zweitens ist jeder derselben als Leiter zu betrachten, der um den anderen als Pol rotirt. In jedem der beiden Magnete findet also aus dreifachem Grunde elektrische Vertheilung und zwar in demselben Sinne statt, und überdiess stimmt auch in beiden Magneten diese Wirkung überein, um Ströme von gleicher Richtung zu geben, wenn die Scheibe mit den Enden derselben in leitende Verbindung gebracht wird.

27) Wenn wir den einen Magneten von der Scheibe isoliren oder

auch ganz entfernen, so haben wir nur die in der vorigen Nummer unter 1. angeführte, bereits in der 17. Nummer besprochene Wirkung.

28) Wenn wir den einen Magneten isoliren und den anderen durch einen Kupferdraht ersetzen, so erhalten wir die am Anfange der 22. Nummer erwähnte doppelte Wirkung, zu der die Wirkung der vorigen Nummer noch hinzukommt, wenn der Magnet nicht isolirt ist.

29) Endlich wurde noch auf eine (messingene) Axe eine kupferne Scheibe von 60^{mm} Durchmesser aufgelöthet und diese an verschiedenen Stellen durchbohrt, um einen Magneten und einen Kupfercylinder, jener 96^{mm} lang und 11^{mm} dick, dieser 100^{mm} lang und 8^{mm} dick, aufzunehmen. Beide wurden ausserdem durch eine zweite, auf die Axe aufgeschobene Scheibe mit entsprechenden Durchbohrungen gehalten. Die Scheibe war von Holz und mit einem kupfernen Reif umgeben, der beliebig mit dem bezüglichen Ende des Magneten und des Kupfercylinders in leitende Verbindung gebracht werden konnte. Der Magnet war mit seiner Mitte in die Messingscheibe, der Kupfercylinder mit einem seiner Enden so eingeklemmt, dass der Pol des ersteren der Mitte des letzteren gegenüber stand. Die Drahtenden des Galvanometers berührten bezüglich den Rand der messingenen Scheibe und den kupfernen Reif. Die Resultate der Versuche waren:

1. Der in dem Magneten durch seine Drehung um eine feste, der seinigen parallele Axe hervorgerufene Strom war, so viel beobachtet werden konnte, immer gleich stark, gleichviel in welcher Entfernung von der Axe der Magnet eingeklemmt wurde (der Kupfercylinder wurde hier ganz fortgelassen).

2. In jeder beliebigen gegenseitigen Lage des Kupfercylinders und des Magneten war in ersterem der Inductionsstrom derselbe, es mochten Kupfercylinder und Magnet beide auf derselben durch die Umdrehungsaxe gehenden Richtung liegen und hierbei auf derselben Seite der Axe oder auf entgegengesetzter Seite derselben, und einmal der Magnet, das andere Mal der Kupfercylinder der Axe sich näher befinden, oder es mochten beide bei der Drehung auf dem Umfange desselben Kreises sich bewegen und hierbei ein beliebiger von beiden dem anderen vorangehen.

30) Zur Controle der vorstehenden Beobachtungen wurden zwei ganz gleiche Magnete in verschiedene Oeffnungen so eingesteckt, dass die gleichnamigen Pole entgegengesetzt gerichtet waren: die Inductionsströme in den beiden Magneten gaben alsdann, wenn sie in entsprechender Weise durch den Galvanometerdraht geleitet wurden, *keine* Ablenkung der Nadel, sie waren gleich und entgegengesetzt; in dem

Kupferdraht hob sich die durch die beiden Magnetpole hervorgebrachte entgegengesetzte Induction vollkommen auf.

31) Aus dem unter 2. in der 29. Nummer aufgeführten Resultate ziehen wir den Schluss, dass in einem unbegrenzten Leitungsdrahte immer dieselbe Induction stattfindet, wenn die relative Lage desselben gegen einen magnetischen Pol, während einer vollen scheinbaren Umdrehung beider um einander, wiederum die ursprüngliche wird. Ob hierbei beide, Draht und Pol, ihre absolute Lage ändern, oder ob einer von beiden fest bleibt, macht keinen Unterschied.

Bei den in der 29. Nummer betrachteten Fällen ist in jedem einzelnen Augenblick die Winkelgeschwindigkeit bei der relativen Umdrehung von Pol und Leitungsdraht eine sehr verschiedene [?]. In Folge der festen Verbindung aber wird diese Umdrehung bei jeder ganzen Umdrehung des Systems einmal vollendet, gerade so, als ob Leitungsdraht oder Pol unbeweglich in der Mitte sich befänden.

32) Durch die in dem Vorstehenden enthaltenen Versuche sind die Gesetze aller in Rede stehenden Erscheinungen auf diejenigen Gesetze, nach welchen ein magnetischer Pol, der um einen ruhenden Leitungsdraht rotirt, in diesem einen Inductionsstrom hervorruft, zurückgeführt. Die Intensität eines solchen Stromes ist abhängig 1. von der Drehungsgeschwindigkeit, 2. von dem Abstande des Poles von dem Leitungsdrahte, 3. von der Leitungsfähigkeit des Drahtes.

33) Was den ersten Punkt, die Abhängigkeit der inducirten Stromstärke von der Geschwindigkeit betrifft, so habe ich zwar einen Apparat zur Hervorbringung grosser Umdrehungsgeschwindigkeiten schon vor längerer Zeit ausführen lassen, bei schnellerer Umdrehung aber darin eine Schwierigkeit gefunden, dass die den Strom überleitenden Federn nicht gleichmässig anlagen. Eigentliche Messungen wurden daher einstweilen nicht angestellt, und ich musste mich damit begnügen, aus ungenauen Beobachtungen das wahrscheinliche Resultat zu ziehen, dass die Stromstärke der Umdrehungsgeschwindigkeit proportional ist, oder mit anderen Worten, dass jede Umdrehung eine gleiche Elektricitätsmenge durch den in sich geschlossenen Leitungsdraht sendet.

34) In Betreff des zweiten Punktes beweist der in dem Folgenden beschriebene Versuch, dass die Stärke des Stromes bei gleicher Umdrehungsgeschwindigkeit von dem Radius des Kreises, den der Pol um den Leitungsdraht beschreibt, unabhängig ist. Es wurde eine runde Kupferplatte, 200^{mm} im Durchmesser, mit umgebogenem Rande so ausgeschnitten, dass ausser diesem letzteren nur ein schmaler, durch den Mittelpunkt gehender Streifen übrig blieb. Dieser Streifen hatte ausser in der Mitte, wo er auf eine verticale, längere kupferne Axe aufge-

schoben wurde, in seiner einen Hälfte, nahe der Umdrehungsaxe, eine runde Oeffnung A' und in seiner anderen Hälfte sechs solcher gleichen Oeffnungen A, B, C, D, E und F, in verschiedenen Abständen von der Mitte. Die Oeffungen A und A' hatten zu beiden Seiten gleichen Abstand. Von den sechs bereits früher (2 und 9) erwähnten, aus demselben Stahlstabe geschnittenen kleinen Magneten wurden zwei von nahe gleicher Stärke ausgewählt, mit messingenen Hülsen versehen, die bis zur Mitte derselben aufgeschoben wurden und in jene Oeffnungen passten. Eines der Enden des Galvanometerdrahtes wurde mit der Axe, das andere Ende mit dem Rande in leitende Verbindung gesetzt.

Wenn einer der beiden Magnete nach einander in die sechs Oeffnungen A, B, C, D, E und F gesteckt wurde, so wich bei derselben Umdrehungsgeschwindigkeit die Galvanometernadel anscheinend immer um einen gleichen constanten Winkel ab, der leicht bis auf 20° gebracht werden konnte, und dieser constante Winkel war auch dann derselbe, wenn der zweite Magnet in die Oeffnung A' gesteckt wurde. Nach diesem bloss vorläufigen Versuche wurden die beiden Magnete gleichzeitig in die Oeffnungen A und A' eingesteckt, jedoch so, dass ihre ungleichnamigen Pole nach oben gekehrt waren. Auch bei einer starken Drehung zeigte die Nadel durchaus keine Ablenkung. (Wenn sie es dennoch gethan hätte, so war darin, dass die Magnete in ihren Hülsen verschoben werden konnten, das Mittel gegeben, die Wirkung der beiden Magnete vollständig zu neutralisiren.) Hierauf wurde endlich der erste Magnet nach einander in die Oeffnungen B, C, D, E und F gebracht, wobei derselbe Pol immer nach oben gerichtet blieb. Die Nadel verhielt sich fortwährend vollkommen unbeweglich

35) Als unmittelbare Folge aus den Gesetzen der vorigen Nummer erweist sich die Unmöglichkeit, durch die Umdrehung eines Magneten um einen unbegrenzten Leitungsdraht, gegen den er irgend eine beliebige Lage hat, in diesem einen Strom zu induciren. Denn wir sind ja gezwungen anzunehmen, dass beide magnetische Polaritäten in demselben gleich stark entwickelt sind.

36) Aus den Gesetzen der 33. und 34. Nummer ergiebt sich, dass dieselbe Elementarbewegung des Poles senkrecht gegen diejenige Ebene, welche durch diesen Pol und den Leitungsdraht geht, einen Strom erzeugt, dessen Stärke sich umgekehrt wie die Entfernung verhält.

37) Endlich ist noch die dritte Frage zu discutiren, wie die Dicke und überhaupt die Leitungsfähigkeit eines Drahtes, in welchem durch die Bewegung eines Magnetpols ein Strom inducirt wird, auf die Stärke dieses Stromes Einfluss hat. Es ist von vorne herein höchst unwahr-

scheinlich, dass dieser Einfluss nicht die Erregung selbst betreffe, sondern bloss auf die Leitung des bereits erregten Stromes sich beziehe.[5]) Wenn die Kraft des Magneten dadurch, dass er in dem Leitungsdrahte, mit dem oder um den er rotirt, einen Strom hervorruft, sich nicht theilweise erschöpft — dem analog, wie ein Strom in nachweisbarer Art nicht geschwächt wird, indem er das Eisen, welches er umkreist, magnetisch macht — so muss offenbar nach Massgabe, als der zu inducirende Leitungsdraht dicker wird, der Strom an Stärke zunehmen.

38) Um hier die Frage zur vorläufigen Entscheidung zu bringen, wurde der Apparat der 9. Nummer dahin abgeändert, dass die kupferne Axe ihrer Länge nach durchgesägt, und die beiden gleichen Hälften, wieder von einander isolirt, zusammengefügt wurden. In der Mitte der 230^{mm} langen und 13^{mm} dicken Axe war eine dicke Kupferscheibe aufgelöthet, von welcher drei Magnete, 160^{mm} lang und 8^{mm} dick, in ihrer Mitte getragen wurden. An einem Ende der Axe waren zwei kupferne Ringe (a) übergeschoben, von welchen jeder eine der beiden Hälften metallisch berührte, während er von der anderen isolirt war. Die beiden Ringe konnten durch einen kleinen metallischen Schieber verbunden werden, wonach die beiden Hälften der Axe nicht mehr von einander isolirt waren. Am anderen Ende der Axe war ein beide Hälften berührender kupferner Ring (b) aufgeschoben.

Ein Drahtende des Galvanometers wurde mit der Mitte des Apparates in Verbindung gesetzt, das andere mit dem Umfange eines der beiden aufgesetzten Ringe a: wenn gedreht wurde, zeigte die Nadel einen starken Strom an, der anscheinend sich gleich blieb, wenn statt des einen Ringes der andere berührt wurde. Während die Verbindung mit einem der beiden Ringe in der angezeigten Weise hergestellt worden war, wurde, unabhängig von dem Galvanometer, gleichzeitig die Mitte mit dem zweiten Ringe durch einen Kupferdraht verbunden: es blieb hiernach die Ablenkung der Galvanometernadel, soviel der Augenschein ergab, dieselbe wie früher. Wir sind hiernach, wie es scheint, zu dem Schlusse berechtigt, dass die Erregung in einer der beiden isolirten Axenhälften durch die Erregung in der anderen nicht gestört wird, dass demnach die Erregung in einer kupfernen Axe von doppeltem Querschnitte auch doppelt so gross ist als die Erregung in einer Axe von einfachem Querschnitte, dass überhaupt endlich die Erregung in der Axe dem Querschnitte derselben proportional ist, also wahrscheinlich bei Axen aus verschiedenem Metalle der Leitungsfähigkeit.

39) Mit dem in der vorigen Nummer beschriebenen Apparate

wurde noch ein zweiter Versuch angestellt, der unsere Art, die fraglichen Erscheinungen aufzufassen, zu unterstützen scheint.

Das eine Ende des Galvanometerdrahtes wurde mit dem beide Axenhälften berührenden Ringe (*b*) auf der einen Seite, das andere mit einem der beiden von einer Axenhälfte isolirten Ringe *a* auf der anderen Seite in Berührung gesetzt. Es zeigte sich nur ein sehr schwacher Strom von derselben Ordnung als die zufälligen thermischen Ströme, die man, wenn blosse Leitungsdrähte zur Herstellung der Verbindungen angewendet werden, nie ganz vermeiden kann, die aber gegen die in der vorigen Nummer besprochenen Ströme bedeutend zurücktreten und leicht zu unterscheiden sind (18). Ungeachtet also die in Rechnung zu bringende elektrische Erregung auf der einen Seite doppelt so gross war, als auf der anderen, so zeigte sich dennoch kein namhafter Strom. Die kupferne Axe verhält sich hiernach bei diesen Versuchen nicht *bloss* leitend und es scheint nicht, dass bei unterbrochener äusserer Leitung merkliche elektrische Strömungen in derselben während der Drehung *nicht* stattfinden.

40) Als Ausdruck für die Erscheinungen haben wir eine durch die Drehung des Elektromagneten hervorgerufene elektromotorische Kraft angenommen, welche die Elektricitäten in jeder Hälfte der Axe (von der Mitte aus genommen) nach entgegengesetzter Richtung treibt und auf *diesem* Wege ihre Wiedervereinigung nicht gestattet, gerade so, wie nach Volta an der Berührungsstelle von Kupfer und Zink. An den beiden Enden der Axe sammelt sich die eine Elektricität an und zwar in verschiedener Menge bei verschiedener Leitungsfähigkeit der beiden Hälften, die andere Elektricität in der Mitte und in der Art, dass die Menge derselben hier der Summe der Elektricitätsmenge an den beiden Enden gleich ist.[5]) Durch die gleichzeitige Berührung der beiden Enden mit einem Leitungsdrahte kann die verschiedene elektrische Spannung sich zwar ausgleichen, aber so lange, als nicht die entgegengesetzte Elektricität in der Mitte *fortgeführt* wird, kann kein Strom entstehen.

Als auch die Verbindung der Mitte der Axe mit den beiden Drahtenden des Galvanometers durch zwei Kupferdrähte hergestellt wurde, zeigte sich ein namhafter Strom, dessen Richtung mit der Richtung des stärkeren Stromes in den beiden (von der Mitte aus gerechneten) Hälften der Axe übereinstimmte.

41) In ähnlicher Weise ergaben sich nur sehr schwache Ströme, wenn man, zu dem Apparate der 67. Figur zurückkehrend, die beiden Enden des Galvanometerdrahtes 1. bloss mit den äusseren Enden des aufgeschobenen hohlen, kupfernen und messingenen Cylinders leitend

verbindet, oder auch 2. mit dem äusseren Ende des Kupfercylinders und dem entsprechenden Ende der kupfernen Axe.*)

Es ergaben sich aber namhafte Ströme, wenn, wie in der Figur angedeutet ist, ausserdem noch die Mitte des Apparates durch zwei neue Drähte mit den Drahtenden des Galvanometers verbunden wurde, und die Richtung des Stromes bestimmte sich wie in der vorigen Nummer.

---

42) Die vorstehenden Experimentaluntersuchungen waren unabhängig von früheren ähnlichen Untersuchungen angestellt worden. Als ich den Versuch mit dem um seine Axe rotirenden Magneten dem Wesentlichen nach in der zweiten Reihe von Faraday's Experimental-Researches wiederfand, überzeugte ich mich, dass meine Auffassungsweise eine wesentlich verschiedene war. Arago's schöne Entdeckung des sogenannten Rotationsmagnetismus war die Quelle, aus der Faraday's schöne Entdeckung der magnetoelektrischen Induction floss. In der unter einem Magnetpole rotirenden Kupferscheibe entstehen Ströme, die von dem Mittelpunkte der Scheibe zum Rande oder um-

*) Dieser letzte Versuch ist einem bereits erwähnten Versuche des Herrn Faraday analog, den er mit folgenden Worten beschreibt: „A compound bar magnet was so fitted up that it could revolve on its axis, and a broad circular copper ring was fixed on it at the middle distance or equator, so, as to give a cylindrical exterior at that place. A copper wire being made fast to this ring within, then proceeded to the middle of the magnet, and afterwards along its axis and out at one end. A second wire touched, by a spring contact, the outside of the copper ring, and was then continued outwards six inches, after which it rose and finally turned over the upper pole towards the first wire, and was attached to a cylinder insulated from but moving round it. This cylinder and the wire passing through it were connected with the galvanometer so that the circuit was complete; but that circuit had its course down the middle of the magnet, then outwards at the equator and back again on the outside, and whilst always perfect, allowed the magnet to be rotated without the external part of the circuit, or the latter without the magnet, or both together. When the magnet and external wire were revolved together, as one arrangement fixed in its parts, there was no effect at the galvanometer, however long the rotation was continued. When the magnet with the internal wire made four revolutions, as the hand of a watch, the outer conductor being still, the galvanometer needle was deflected 35° or 40° in one direction: when the magnet was still, and the outer wire made four revolutions as the hands of a watch, the galvanometer needle was deflected as much as before in the *contrary direction:* and in the more careful experiments the amount of deflection for four revolutions was precisely the same, whatever the course of the external wire, either close to or far from the pole of the magnet.

Den beiden anderen Versuchen entsprechen früher bereits beschriebene (2, 23, 24).

gekehrt gehen. Solche Ströme zeigen sich bei einer Drehung auch dann, wenn die Scheibe mit ihrer Mitte (isolirt) auf das eine Ende des Magneten aufgekittet ist (Ex. R. 218), auch dann, wenn die Platte isolirt um den magnetischen Pol als Hülse herumgebogen wird (219), auch dann endlich, wenn der Magnet allein für sich in einem engen Gefässe in senkrechter Lage auf Quecksilber schwimmend gedreht wird. In diesem Falle zeigt sich ein verhältnissmässig starker Strom, wenn das eine Drahtende des Galvanometers das obere Ende der Axe des rotirenden Magneten berührt, und das andere in das Quecksilber taucht. Der Strom geht nach Herrn Faraday von der Axe des Magneten nach dem Umfange oder umgekehrt.

Dieselbe Ansicht adoptirt auch Herr Weber in seiner Abhandlung „Unipolare Induction", die schon in den Resultaten des magnetischen Vereins für das Jahr 1839 abgedruckt ist, mir aber erst nach der Redaction des Vorstehenden zu Gesicht kam. Die Sache schien mir einen Augenblick für meine Auffassungsweise um so mehr bedenklich, als Herr Weber sich dabei auf die Resultate seiner klassischen Beobachtungsweise stützte.*)

43) Ein Versuch namentlich schien meiner Ansicht von den fraglichen Erscheinungen auf den ersten Blick zu widersprechen. Eine Modification desselben Versuches hebt indess den scheinbaren Widerspruch wieder auf.

In der 6. und 7. Versuchsreihe bediente sich Herr Weber eines Magneten, der 502^{mm} lang und 25^{mm} dick war. Ein Drahtende des Magnetometers war, wie in *allen* Versuchen, mit der Axe des Magneten in Verbindung, das andere tauchte in Quecksilber zugleich mit einer Scheibe, die auf dem Magneten verschoben werden konnte. Befand sich diese Scheibe in der Mitte, so betrug bei 30 Umdrehungen in 7 Sekunden die doppelte Ablenkung des Magnetometers

61,70

Scalentheile. Wenn die Scheibe an ein Ende des Magneten verschoben wurde, so betrug bei derselben Umdrehungsgeschwindigkeit dieselbe doppelte Ablenkung in Scalentheilen

21,66 oder 20,44,

je nachdem die Leitung nach dem nahen oder dem entfernteren Ende

*) Durch directe Messungen ist hiernach für den Fall eines um seine Axe rotirenden Magneten das Gesetz festgestellt, dass, wenn man ein Ende der Axe mit einem Punkte des Umfangs in leitende Verbindung bringt, die Stromstärke der Umdrehungsgeschwindigkeit proportional ist. (Vgl. die 38. Nummer.)

der Axe ging. Herr Weber betrachtet in diesen letzten beiden Fällen die Inductionsströme als gleich.*)

Ich meinerseits modificirte hiernach den Versuch der 14. Nummer dahin, dass ich zwei verschiebbare Hülsen (Fig. 71), welche mit Scheiben versehen waren, die zugleich mit den Drahtenden des Galvanometers in bewegliche Quecksilbergefässe eintauchten, an dem Magnetstabe anbrachte, der 256^{mm} lang und 15^{mm} dick war und um seine horizontale Axe rotirte. Die früheren Beobachtungen wurden vollständig bestätigt. Wenn die eine Scheibe in der Mitte sich befand, so nahm bei einer constanten Drehung des Magneten der Inductionsstrom fortwährend zu, je mehr die zweite Scheibe sich einem der beiden Enden des Magneten näherte, und wenn sie ganz an das Ende gerückt war, konnte ich freilich nach ungefährer Schätzung keine Aenderung wahrnehmen, wenn der Strom statt von der Scheibe von der Axe des Magneten abgeleitet wurde.

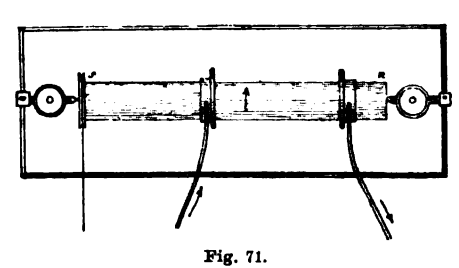


Fig. 71.

Wenn die Scheiben fortgenommen wurden und ein Drahtende des Galvanometers den *Umfang* des Magneten in der Nähe einer seiner Endflächen, und das andere nach einander den *Umfang* jeder der beiden Endflächen selbst berührte, so zeigte sich beide Mal ein Strom von wenigstens nahe gleicher Intensität.

Es zeigte sich nur ein schwacher Strom, wenn das eine Drahtende den Mittelpunkt der Endfläche des Magneten (die Axe), das andere den Umfang derselben berührte, so dass dieser Strom nur als ein untergeordneter mir erscheinen musste.

44) Die Ausgleichung der beiden verschiedenen Auffassungsweisen, welche beide zu ihrer Begründung das Experiment in Anspruch nehmen, ist in dem zweiten theoretischen Theile dieser Abhandlung zu suchen. Ich schliesse hier mit einer kurzen Bemerkung.

*) Betrachtet man die Resultate der 5. und 7. Versuchsreihe, wo nämlich die Ableitung des Stromes von der Oberfläche des Cylinders nicht in der Mitte, wie bei den übrigen Versuchsreihen, sondern am Ende stattfand, so findet man fast dasselbe Resultat, sowohl wenn der galvanische Strom die ganze Länge des Cylinders durchlaufen muss, um von der Stelle, wo er eintritt, zu der Stelle, wo er austritt, zu gelangen, als auch, wenn er dabei die Länge des Cylinders nicht zu durchlaufen braucht, ... woraus man vermuthen kann, dass der galvanische Strom nur bei seinem *Eintritt* und *Austritt*, d. i. hier an den nahe gleich stark magnetischen Enden des Cylinders, von der Oberfläche zur Drehungsaxe übergeht. (Unipolare Induction p. 88. Auch Pogg. Ann., Bd. 52, S. 353.)

Wenn, wie bei dem Arago'schen Versuche, eine Kupferscheibe unter einem magnetischen Pole, der ausserhalb der Umdrehungsaxe liegt, rotirt, so beschreiben gewissermaassen die unter dem Pole hinweggehenden Punkte der Kupferscheibe in derselben Elemente von Kreisbögen und rufen demnach nach der Richtung der Radien eine elektrische Induction hervor. Wenn wir den entsprechenden Strom unter dem Pole in den *wechselnden* Radien nehmen, so ist das Verhältniss offenbar dasselbe, als wenn der Radius um den Pol, oder der Pol um den als fest betrachteten Radius sich dreht. So erklärt sich die Grunderscheinung des Rotationsmagnetismus und so erklärt sich auch, dass bei einem rotirenden Magneten in jedem senkrecht auf der Axe stehenden Durchschnitt nach der Richtung der Radien Induction stattfindet, hervorgerufen in entgegengesetztem Sinne durch die auf beiden Seiten derselben rotirenden magnetischen Molecüle. Um diese, wie ich glaube, untergeordnete Wirkung von derjenigen zu trennen, die wir in dem Obigen betrachtet haben, und um die Beziehung beider zu einander mit aller Bestimmtheit feststellen zu können, scheinen mir neue Versuche erforderlich zu sein.[6])

§ 2.

Theoretisches.

45) Wenn man erwägt, dass ein galvanischer Strom die Masse eines Magneten in Bewegung setzt, sowie umgekehrt der Leitungsdraht, an welchem der Strom gebunden ist, von dem Magneten in Bewegung gesetzt wird, so ist es vom mathematisch-mechanischen Standpunkte aus schwer, sich des Gedankens zu erwehren, dass der galvanische Strom nicht selbst ein mechanisches Moment habe, das, wenn wir die Elektricität als materiell denken, die Masse derselben und ihre Geschwindigkeit zu Factoren hat. Welche Bedeutung diese Auffassungsweise in Beziehung auf die Entstehung des Stromes habe, muss einstweilen unberührt bleiben*), wir wollen hier den Strom als vorhanden

*) Dem Grundsatze getreu, bei jeder Mittheilung einer Arbeit die Veranlassung anzugeben, die sie hervorgerufen hat, nenne ich hier den höchst merkwürdigen Versuch, durch welchen Peltier nachgewiesen hat, dass ein galvanischer Strom, durch die Berührungsstelle eines thermoelektrischen Elementes geleitet, dann eine Erkältung derselben hervorbringt, wenn er die Richtung desjenigen Stromes hat, der durch Erwärmung der Berührungsstelle entstehen würde. Dieser Versuch war es, der mich schon vor längerer Zeit zu einer theoretischen Auffassungsweise führte, aus welcher insbesondere auch die gegenwärtige Abhandlung allein hervorging.

betrachten und gleich den Versuch ins Auge fassen, wo er einen Magneten um sich herum in rotirende Bewegung setzt. Dann müssen wir diese Bewegung in gewissem Sinne als die Reaction des Stromes betrachten und daraus die Folgerung ziehen, dass, wenn wir durch eine *äussere* Kraft dem Magneten dieselbe Bewegung geben, in dem Leitungsdrahte, wenn kein Strom vorhanden ist, ein Strom von entgegengesetzter Richtung entstehen muss.

46) Weitläufigeren Ausführungen mag hier ein triviales Beispiel uns überheben. Wenn ich aus dem Nachen ans Land springe, so nimmt dieser dieselbe Bewegung an (die Bewegungsgrösse ist dieselbe), als wenn ich von Aussen her mit gleicher Geschwindigkeit nach entgegengesetzter Richtung in den Nachen hineinspringe.

47) Die Herren Biot und Savart stellten in einer Mittheilung, die sie schon unterm 30. November 1820 der Pariser Academie machten, das aus directen Versuchen abgeleitete Gesetz auf, dass die Wirkung eines unbegrenzten [geradlinigen] galvanischen Stromes auf einen Magnetpol im umgekehrten Verhältnisse der kürzesten Entfernung beider von einander abnehme. Gleich darauf zeigte Laplace, wie daraus durch Rechnung sich ergebe, dass jedes Stromelement auf den Pol (oder ein magnetisches Element) umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung wirke, dass aber in dem Ausdruck dieser Wirkung ein von der Richtung des Stromelementes abhängiger Coëfficient enthalten sein könne. Diesen bestimmte Herr Biot durch das Experiment und führte dadurch die Bestimmung der Wirkung eines Stromes von durchaus beliebiger Richtung im Raume auf eine blosse Integration zurück.

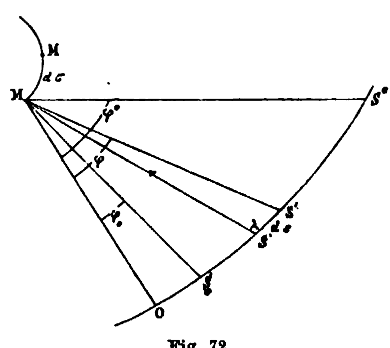


Fig. 72.

48) Nach Herrn Biot erhalten wir für die Wirkung, welche das Stromelement SS' (Fig. 72) auf den magnetischen Pol M ausübt,

$$\mu \varrho k \frac{ds \sin \lambda}{r^2},$$

wobei k eine Constante bedeutet, und ϱ und μ zwei Coëfficienten sind, die von der Stromstärke und der Stärke des magnetischen Poles abhängen; ds bezeichnet das Stromelement, r die Entfernung desselben von dem Pole, und λ denjenigen Winkel, welchen die Richtung des Stromelementes mit r bildet. Diese Wirkung findet statt senkrecht gegen diejenige Ebene, welche durch das Stromelement und den Pol geht. Wenn der Pol nicht frei sich bewegen kann, sondern gezwungen ist, nach einer gegebenen Richtung, welche mit der

auf jener Ebene senkrechten Richtung irgend einen Winkel ω bildet, sich fort zu bewegen, so geht der obige Ausdruck für die fragliche Wirkung in den folgenden über:

$$\text{(A)} \qquad \mu \varrho k \frac{ds \sin \lambda \cos \omega}{r^2}.$$

Es ist dieses die volle Wirkung, zerlegt nach der gegebenen Richtung.

Die Coëfficienten μ und ϱ ändern bezüglich ihre Zeichen, wenn die magnetische Polarität und die Stromrichtung sich umkehren. Wir wollen beide dann positiv nehmen, wenn die Richtung des Stromes mit der positiven Erstreckung des Leiters zusammenfällt und M der Nordpol (pôle austral) ist. Dann tritt dieser Pol in Folge der elektromagnetischen Wirkung, wenn wir uns das Dreieck SMS' in der Ebene der Tafel liegend denken, aus dieser Ebene nach vorne hervor. Die Richtung, nach welcher diese Wirkung statt hat, und demnach auch der vom Magnetpole im ersten Momente beschriebene Weg sei $d\sigma$.

49) Wir wollen uns, den allgemeinen Gesichtspunkt der 45. Nummer festhaltend, sogleich zu der reciproken Wirkung wenden, und hier scheint es am natürlichsten anzunehmen, dass durch die kleine Bewegung $d\sigma$ des magnetischen Poles M in dem Elemente ds eine gewisse Menge gebundener Elektricität frei werde, die dann durch den Leitungsdraht, wenn er in sich selbst geschlossen ist, fortgeführt wird, wo nicht, an den Enden desselben eine elektrische Spannung hervorbringt. Die Menge dieser Elektricität, getheilt durch die Dauer der Erregung, könnte man die *in dem Stromelemente hervorgerufene elcktromotorische Kraft* nennen, und diese, durch den Gesammtwiderstand in dem geschlossenen Leitungsdrahte getheilt, würde dann die entsprechende Stromstärke geben. (Vgl. die 40. Nummer.)

50) Um die in dem Elemente ds durch die Bewegung des Poles durch das Wegelement $d\sigma$ frei werdende Elektricität auszudrücken, erhalten wir nach der vorigen Nummer

$$\text{(B)} \qquad -\mu \varkappa k \frac{ds \sin \lambda \cos \omega \, d\sigma}{r^2},$$

wobei $\varkappa$ einen von der Leitungsfähigkeit des Elementes ds abhängigen Coëfficienten bezeichnet[7]), und alle übrigen Grössen dieselbe Bedeutung als früher haben. Das Zeichen dieses Ausdruckes giebt die Richtung des inducirten Stromes und hängt vom Zeichen von μ und $d\sigma$ ab.

51) Um in dem allgemeinsten Falle die Grösse und Richtung der von einem beliebigen in S_0 und S^0 begrenzten Strom auf den Magnetpol M ausgeübte Kraft zu finden, müssen wir drei auf einander senkrechte Axen durch diesen Pol legen und auf diese nach einander den

veränderlichen Winkel ω beziehen. Die drei bezüglichen Integrale

$$\text{(I.)} \qquad \mu\varrho k \int_{s_0}^{s^0} \frac{ds \sin\lambda \cos\omega}{r^2}$$

geben dann drei Seitenkräfte, aus denen die gesuchte resultirende Kraft sich unmittelbar der Grösse und Richtung nach ergiebt.

Die Form dieser Integrale vereinfacht sich, wenn wir statt s denjenigen Winkel φ einführen, welchen nach der Abwickelung der durch die Stromcurve und den Magnetpol bestimmten Kegelfläche ein beliebiger Radiusvector MS mit einem festen MO bildet. Alsdann ist

$$ds \sin\lambda = r d\varphi,$$

wonach der letzte Ausdruck in den folgenden übergeht:

$$\text{(II.)} \qquad \mu\varrho k \int_{\varphi_0}^{\varphi^0} \frac{d\varphi}{r} \cos\omega.$$

Wenn die Stromcurve eine ebene Curve ist, so haben r und φ die Bedeutung gewöhnlicher Polarcoordinaten.

52) Wir wollen hier nur, zugleich mit Rücksicht auf die reciproke Wirkung, solche einfachen Fälle betrachten, welche Resultate liefern, die sich mit der Beobachtung vergleichen lassen.

Es sei *erstens* der gegebene Strom ein geradliniger, nach beiden Seiten hin unbegrenzter (Fig. 73). Fällen wir vom magnetischen Pole M ein Perpendikel $MO = c$ auf die Stromrichtung und rechnen von diesem Perpendikel an den Winkel φ, so ist

$$\cos\omega = 1, \qquad r\cos\varphi = c,$$

und mithin das letzte Integral (II.)

$$\frac{\mu\varrho k}{c} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}} \cos\varphi\, d\varphi = \frac{2\mu\varrho k}{c}.$$

Fig. 73.

Dieser Ausdruck enthält das von Biot und Savart aus der Beobachtung abgeleitete Gesetz.

53) Betrachten wir *zweitens* einen kreisförmigen Strom, dessen Radius gleich R ist, und legen den Magnetpol in die Axe desselben in einer Entfernung gleich z, so ist klar, dass die resultirende Wirkung nach dieser Axe gerichtet ist. Für diesen Fall ist

$$r^2 = R^2 + z^2, \qquad \sin\lambda = 1, \qquad \cos\omega = \sin\varphi,$$

wobei φ den constanten Winkel bedeutet, den eine gerade Linie, die von dem magnetischen Pole nach einem beliebigen Stromelemente gezogen wird, mit der Axe des Stromkreises bildet. Das Integral II. giebt für diesen Fall

$$\frac{\mu\varrho k \sin\varphi}{r^2}\int_0^{2\pi R} ds = \frac{2\pi\mu\varrho k R \sin\varphi}{R^2+z^2}.$$

Wenn der magnetische Pol mit dem Mittelpunkte des kreisförmigen Stromes zusammenfällt, so reducirt sich dieser Ausdruck auf

$$\frac{2\pi\mu\varrho k}{R}.$$

54) Die Wirkung einer Spirale auf einen in ihrer Axe befindlichen magnetischen Pol reducirt sich auf die Wirkung kreisförmiger Ströme, deren Anzahl der Anzahl der Windungen gleich ist (Fig. 74). Nehmen wir an, diese Anzahl sei unendlich gross, während die Höhe der einzelnen Windungen unendlich klein ist, so erhalten wir nach der vorigen Nummer für die Differentialwirkung einer einzelnen Windung

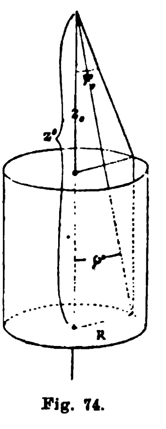


Fig. 74.

$$\frac{2\pi\mu\varrho k R \sin\varphi\, dz}{r^2}$$

und für die Gesammtwirkung

$$2\pi\mu\varrho k\int_{z_0}^{z^0}\frac{R\sin\varphi\, dz}{r^2},$$

wobei z den Abstand des Poles von dem Mittelpunkte der jedesmaligen Windung und $z^0 - z_0$ die Höhe der Spirale bedeutet. Es ist

$$z \operatorname{tang}\varphi = R,$$

mithin

$$dz = -\frac{z\,d\varphi}{\sin\varphi\cos\varphi}$$

und hiernach

$$\frac{R\,dz}{r^2} = -\frac{Rz\,d\varphi}{r^2\sin\varphi\cos\varphi} = -d\varphi.$$

Das obige Integral verwandelt sich also in das folgende:

$$-2\pi\mu\varrho k\int_{\varphi_0}^{\varphi^0}\sin\varphi\, d\varphi = 2\pi\mu\varrho k(\cos\varphi^0 - \cos\varphi_0).$$

Dieser Ausdruck reducirt sich, wenn der Pol in der Mitte der Spirale sich befindet, auf

$$4\pi\mu\varrho k\cos\varphi^0$$

und wenn die Spirale nach beiden Seiten unbestimmt verlängert ist, auf

$$4\pi\mu\varrho k.$$

Die letzte Wirkung ist von der Weite der Spirale unabhängig.

55) Der Gedanke liegt nahe, dass wir es einer und derselben Kraftäusserung zuschreiben, wenn eine Spirale in ihrem Innern einerseits die beiden Pole eines Magneten nach entgegengesetzter Richtung ihrer Axe entlang treibt und andererseits ein in ihrer Axe befindliches Eisentheilchen in der Art magnetisch macht, dass die bezüglichen Pole nach denjenigen Richtungen hin auftreten, nach welchen die gleichnamigen Pole in den fertigen Magneten, die Masse desselben nach sich ziehend, getrieben werden. Es schliesst sich diese Anschauung an die gewöhnliche Auffassungsweise an, dass jedes kleinste Theilchen eines Magneten dadurch, dass die beiden an dasselbe gebundenen magnetischen Fluida sich trennen, selbst zum Magneten wird. Nach der vorigen Nummer wäre also die magnetische Kraft einer nach beiden Seiten unbegrenzten Spirale für ein in ihrer Mitte befindliches Eisentheilchen *unabhängig von der Weite ihrer Windungen*, wobei das Gesetz selbst, wonach sich die Stärke des auftretenden Magnetismus bestimmt, in keiner Weise in Betracht kommt. Dieses Resultat der Rechnung stimmt mit der bekannten Thatsache, dass innerhalb gewisser Grenzen ein Eisenkern in einer engen und weiten Spirale nahe gleich stark magnetisch wird, überein.

56) Wenn wir den Werth der Constanten ϱ der Stromstärke proportional nehmen, so sind es auch die Ausdrücke, welche wir in der vorletzten Nummer für die Wirkung einer Spirale auf einen magnetischen Pol gefunden haben, vorausgesetzt, dass μ unverändert bleibe. Diese Voraussetzung entspricht der Wirklichkeit niemals ganz, weil die Spirale die Intensität des Poles ändert. Wenn wir statt des Magneten einen Stab weichen Eisens in die Spirale bringen, so ruft der Strom in demselben den Magnetismus erst hervor, auf welchen er wirkt. Nehmen wir im Einklange mit der vorigen Nummer diese Erregung und demnach μ der Stromstärke ebenfalls proportional, so erhalten wir das von Herrn Hankel auf Grund von Messungen mitgetheilte Gesetz, dass innerhalb gewisser Grenzen die Wirkung einer Spirale auf einen Kern weichen Eisens dem Quadrate der Stromstärke proportional ist.

57) Wir kehren zu unserem eigentlichen Gegenstande zurück.

Die Menge der Elektricität, die in einem gegebenen Leitungsdrahte dadurch in Bewegung gesetzt wird, dass ein Magnetpol um $d\sigma$ verschoben wird, ist, in Gemässheit der 50. Nummer, durch das Doppelintegral

(III.) $$-\mu k \int_{s_0}^{s^0}\int_{\sigma_0}^{\sigma^0} \frac{\varkappa\, ds\, d\sigma \sin\lambda \cos\omega}{r^2}$$

gegeben. Wenn der Leitungsdraht aus demselben Metalle besteht und überall dieselbe Dicke hat, so ist $\varkappa$ constant. In welcher Ordnung wir integriren, ist gleichgültig. Integriren wir zuerst in Beziehung auf σ, so erhalten wir die in dem Stromelemente ds in Folge der Bewegung des Poles in Bewegung gesetzte Elektricität

(IV.) $$-\mu \varkappa k ds \int_{\sigma_0}^{\sigma^0} \frac{d\sigma \sin\lambda \cos\omega}{r^2}.$$

58) Wir wollen erstens den Fall eines kreisförmigen Leitungsdrahtes betrachten und den Magnetpol nach der Axe desselben sich bewegen lassen. Dann wird, wenn wir, wie bisher, den Radius des kreisförmigen Drahtes durch R und denjenigen Winkel, welchen eine von dem Pole in seiner jedesmaligen Lage nach einem Punkte des Stromes gezogene gerade Linie mit der Axe bildet, durch φ bezeichnen, das obige Doppelintegral das folgende (54)

$$-2\pi\mu\varkappa k R \int_{\sigma_0}^{\sigma^0} \frac{d\sigma \sin\varphi}{r^2} = 2\pi\mu\varkappa k \int_{\varphi_0}^{\varphi^0} \sin\varphi\, d\varphi = -2\pi\mu\varkappa k(\cos\varphi^0 - \cos\varphi_0).$$

Bewegt sich der Pol durch die ganze Strecke der Axe, wo seine inducirende Wirkung noch merklich ist, so giebt der letzte Ausdruck:

$$-4\pi\mu\varkappa k,$$

wonach die Wirkung unabhängig ist von dem Radius des kreisförmigen Drahtes.

Die Stromerregung in einem Bogen des Leitungsdrahtes ist offenbar demjenigen Winkel proportional, der diesen Bogen misst.

59) Es sei *zweitens* der Leitungsdraht ein geradliniger und nach beiden Seiten hin unbegrenzter, und es bewege sich der Pol in einer beliebigen Curve. Wir wollen für diese Curve zuvörderst eine solche nehmen, deren Ebene auf dem Leitungsdrahte senkrecht steht. Ihre Gleichung in Polarcoordinaten sei

$$F(r, \varphi) = 0,$$

wobei wir den Pol dieser Coordinaten in den Leitungsdraht legen. Für diesen Fall giebt die allgemeine Integralformel III.:

$$-2\mu\varkappa k \int_{\sigma_0}^{\sigma^0} \frac{d\sigma \cos\omega}{r}.$$

Es ist aber

$$d\sigma \cos\omega = r d\varphi$$

und somit kommt

(1) $$-2\mu\varkappa k \int_{\varphi_0}^{\varphi^0} d\varphi = -2\mu\varkappa k(\varphi^0 - \varphi_0).$$

Wenn die Curve eine in sich selbst geschlossene ist, so ist ein doppelter Fall zu unterscheiden, entweder umschliesst diese Curve den Leitungsdraht oder nicht. In dem ersten Falle ist von 0 bis 2π zu integriren und es kommt

$$-4\pi\mu\varkappa k.$$

Im zweiten Falle zerfällt das Integral in zwei oder mehrere, deren Grenzen von der Lage der Tangenten, die von dem Leitungsdrahte an die Curve sich legen lassen, abhängen.

Die Summe dieser Integrale ist von der Form

$$2\mu\varkappa k[(\varphi_1 - \varphi_0) + (\varphi_2 - \varphi_1) + \cdots + (\varphi_n - \varphi_{n-1}) + (\varphi_0 - \varphi_n)]$$

und verschwindet also.

60) Wenn wir statt der bisher betrachteten ebenen Curve, welche der Magnetpol beschreibt, irgend eine Curve doppelter Krümmung nehmen, so können wir nach gewöhnlichem Verfahren die Bewegung des Magneten durch jedes Element dieser Curve in zwei Bewegungen zerlegen, von welchen die eine parallel mit dem Leitungsdrahte ist, und die andere in einer gegen denselben senkrechten Ebene gelegen ist. Die erste kann, was der Ausdruck (B) sagt, nichts zur Stromerregung beitragen. Die zweite bringt, wenn der Träger des Stromes ein unbegrenzter ist, dieselbe Wirkung hervor, wenn sie, parallel mit sich selbst, nach der Richtung des Stromes verschoben wird. Es ist also für die Stromerzeugung gleichbedeutend, ob der magnetische Pol irgend eine gegebene Curve im Raume, oder ihre Projection auf irgend eine zur Stromrichtung senkrechte Ebene durchläuft.

61) Die Bewegung des Poles durch das Element der projicirten Curve können wir wiederum in zwei Bewegungen zerlegen, die eine senkrecht gegen den unbegrenzten Leitungsdraht, die andere nach dem Bogen eines Kreises, dessen Mittelpunkt im Leitungsdrahte liegt. Die erste Bewegung ist in Gemässheit des Ausdruckes (B) ohne Wirkung, die zweite (1) unabhängig von dem Radius des Kreises. Wir können also den Magneten statt durch die projicirte Curve durch einen beliebigen Kreisbogen sich bewegen lassen, vorausgesetzt, dass die Endpunkte beider denselben Werthen von φ entsprechen. Wir gelangen hiernach zu dem Resultate der 59. Nummer, wenn wir aus der Beobachtung die Thatsache entnehmen, dass der erregte Strom derselbe

ist, wenn um denselben unbegrenzten und geradlinigen Leitungsdraht ein magnetischer Pol in Kreisen von verschiedenem Radius mit derselben Winkelgeschwindigkeit sich bewegt (34).

62) Auch dem Resultate der 58. Nummer können wir in analoger Weise eine viel grössere Allgemeinheit geben. Wir können nämlich einen Leitungsdraht von ganz beliebiger Form nehmen und jedes Element desselben in drei Elemente zerlegen, von welchen das erste der geradlinigen Bahn des Poles parallel, das zweite senkrecht gegen dieselbe gerichtet ist, und das dritte einem Kreise angehört, dessen Mittelpunkt in derselben liegt. In den beiden ersten Elementen findet keine Erregung statt; die Erregung in dem letzten hängt nicht von dem Radius, sondern nur von dem Winkel ab, welcher dem Kreisbogenelemente entspricht. Hiernach können wir, ohne die Wirkung irgendwie zu ändern, statt des gegebenen ganz beliebigen Leiters die Projection desselben auf eine beliebige Ebene nehmen, die auf der von dem Pole beschriebenen geraden Linie senkrecht steht, und diese erste Projection wiederum auf den Umfang eines Kreises von beliebigem Radius projiciren, der in derselben Ebene liegt, und dessen Mittelpunkt auf jener geraden Linie liegt.

63) Indem wir zusammenfassen, ergeben sich die nachstehenden Resultate.

1. Wenn ein geradliniger und als unbegrenzt zu betrachtender Leiter und irgend zwei Punkte gegeben sind, so ist die Stromerregung durch einen magnetischen Pol immer dieselbe, gleichviel, auf welchem Wege der Magnet von dem einen Punkte zu dem anderen in gleichem Sinne bewegt wird.*) Insbesondere ist diese Erregung dieselbe, wenn der magnetische Pol von einer beliebigen Lage ausgeht, und nachdem er eine beliebige Curve, den Leitungsdraht umkreisend, durchlaufen hat, wieder zu der ursprünglichen Lage zurückgeht. Hiernach ist, wenn auch die Dauer der jedesmaligen Umkreisung des Drahtes sich gleich bleibt, die elektromotorische Kraft und, bei gleichem Widerstande, auch die Stromstärke dieselbe. Wenn die in sich geschlossene, von dem Pol beschriebene Curve den Leitungsdraht nicht umschliesst, so verschwindet die Stromerregung, oder vielmehr die bei jeder Umkreisung des Leitungsdrahtes stattfindenden entgegengesetzten Stromerregungen heben sich gegenseitig auf.

2. Wenn ein magnetischer Pol eine unbegrenzte gerade Linie durchläuft, so ist die Erregung des Stromes immer dieselbe, wie auch der

---

*) [Vorausgesetzt, dass dieser Weg den Leitungsdraht eine gleiche Anzahl von Malen umschlingt.]

Träger desselben von einem ersten festen Punkte zu einem zweiten festen Punkte geleitet wird. Insbesondere ist diese Erregung also auch dann dieselbe, wenn der Leitungsdraht sich um den magnetischen Pol in irgend einer beliebigen, in sich geschlossenen Curve hinzieht, und zwar auch derjenigen in einem unbegrenzten geradlinigen Leiter gleich, um welchen derselbe Pol in einer beliebigen, in sich geschlossenen Curve sich herumdreht. Die Erregung verschwindet für jeden in sich geschlossenen Leiter, wenn die von dem Pole beschriebene gerade Linie ausserhalb desselben liegt [d. h. nicht von ihm umschlungen wird].

Ich breche hier ab.

48.

Ueber die Fessel'sche Rotationsmaschine.

(Annalen der Physik und Chemie, Bd. 90, S. 174—177. 1853.)

Poisson hat bereits in einem besonderen Abschnitte seiner Mechanik die Bewegung bestimmt, die ein der Kraft der Schwere unterworfener Rotationskörper, welcher um seine Axe rotirt, in dem Falle annimmt, dass diese Axe um einen ihrer Punkte frei beweglich ist. Auch die neueste Arbeit des Herrn Poinsot, der das grosse Verdienst hat, dass er die Erscheinungen der Rotationsbewegung so entwickelt, dass man die einzelnen Schritte der Entwickelung gewissermaassen mit dem Auge verfolgen kann, enthält allgemeine Resultate, die sich leicht auf den eben bezeichneten Fall übertragen lassen. Nichts desto weniger liegen die fraglichen Erscheinungen bisher sehr wenig in unserer Anschauung, und darum erscheint es mir ein erwünschtes Zusammentreffen, dass Herr Fessel — früherer Lehrer an der Provinzial-Gewerbeschule, jetzt durch die Gunst oder Ungunst der Verhältnisse ganz auf seine Kunst als Mechaniker angewiesen — seinerseits einen Apparat construirt hat, welcher, indem er diese Erscheinung dem Auge vorführt, jeden überrascht und geeignet ist, auch den Eingeweihten auf einen Augenblick stutzig zu machen.

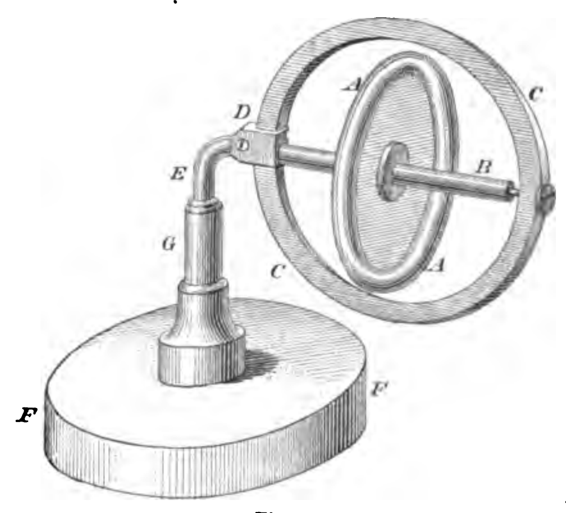


Fig. 75.

Der Fessel'sche Apparat (Fig. 75), in der ursprünglichen Con-

struction, besteht aus einer messingenen Scheibe A, deren Hauptmasse auf den äusseren, aufgeworfenen Rand kommt, durch deren Mitte eine stählerne Axe B geht, welche von einem messingenen Ringe C getragen wird. Dieser Ring ist durch ein Scharnier D mit einem umgebogenen Eisenstift E verbunden, der in eine vertical stehende Hülse von Messing G passt und in dieser sich frei drehen kann. Das Ganze steht auf einem hölzernen Fusse F.

Die innere Scheibe kann durch einen Faden, den man auf die stählerne Axe wickelt und dann abzieht, in starke rotirende Bewegung gesetzt werden. Dann scheint diese Scheibe mit ihrem Ringe nicht mehr der Schwere zu gehorchen und dreht sich, anfangs nur kaum merklich herabsinkend, um den verticalen Stift E in einer Richtung, welche der Richtung der Rotation der Scheibe in ihrem Ringe entgegengesetzt ist. Herr Fessel machte schon vor längerer Zeit beim Centriren eines Schwungrades eine Beobachtung, die ihn zur Construction seines Apparates führte.*)

Den damals mir schon versprochenen Apparat überbrachte er mir erst vor einigen Wochen. Nachdem ich die oben beschriebene Wirkung gesehen, befestigte er auf meine Veranlassung den Ring mit der Scheibe vermittelst des Scharniers an dem einen Ende einer messingenen Stange, so dass diese die feste Verlängerung der Axe bildete. Diese Stange konnte in eine messingene Hülse eingeklemmt und beliebig darin verschoben werden. Diese Hülse war um eine horizontale Axe beweglich, die ihrerseits an einer verticalen Axe befestigt war (die Vorrichtung

*) Herr Fessel schreibt mir unterm 26. dieses Monats Folgendes: „Den neuen Apparat habe ich, Ihrem Rathe zufolge, auf eine Spitze gesetzt rotiren lassen. Der Versuch gelang *ganz herrlich*. Sollten Sie in der Notiz für Poggend. Ann. etwas von der Entstehungsgeschichte des Apparates sagen wollen, so bitte ich, folgende Andeutungen zu benutzen. Vor zwei Jahren liess ich das 24 Zoll im Durchmesser haltende Rad eines Dampfmaschinenmodells zwischen beiden Händen rotiren, um zu sehen, ob der Gehülfe das Rad richtig gearbeitet hätte.

Ich fühlte hierbei, dass die Ebene des Rades während der Rotation fest war, und dass man eine Hand wegnehmen konnte, ohne dass das (nun bloss mit einem Zapfen aufliegende) Rad herunterfiel. Die hierbei sich zeigende Rotation in einer Horizontalebene schrieb ich dem Heraufsteigen der hölzernen Axe an der Handfläche zu. Um das Heraufsteigen zu verhüten, liess ich bei einem genauer construirten Apparate das Ellipsoid in einem Ringe rotiren und wollte zwei vorstehende Stifte, welche die Verlängerung der Axe bildeten, also selbst nicht rotirten, abwechselnd unterstützen. Es zeigte sich aber bald, dass die Rotation in einer Horizontalebene keine *zufällige*, sondern eine *wesentliche* war. Verschiedene Unfälle, die der Apparat bei diesen Versuchen erlitt, verursachten, dass er einstweilen bei Seite gelegt wurde, bis ich in der neuesten Zeit einem momentan nicht beschäftigten Arbeiter die Erneuerung und gleichzeitige Abänderung auftrug, welche vollkommen gelang."

gehörte zu einem physikalischen Apparate). Die messingene Stange mit dem Ringe konnte hiernach jede beliebige Neigung annehmen und um die verticale Axe beliebig sich drehen.

Der so improvisirte Apparat gab die früheren Erscheinungen, zugleich aber traten andere unmittelbar hervor. Drehte sich die Scheibe in einer Verticalebene, so bewegte sich die Axe nach entgegengesetzter Richtung in der Horizontalebene herum. Wenn die erste Rotationsbewegung allmählig abnahm, nahm die zweite zu. Wenn die zweite Bewegung durch eine äussere Kraft beschleunigt wurde, so schien der Ring mit der Scheibe leichter zu werden, indem er in die Höhe ging; bei einer Verzögerung der horizontalen Drehung hingegen schien er schwerer zu werden, indem er sich senkte. Bei derselben Rotationsgeschwindigkeit der Scheibe nimmt die horizontale Rotation ihrer Axe zu oder ab, je nachdem die Kraft der Schwere vermehrt oder vermindert wird.

Nimmt man zum Beispiel die rotirende Scheibe von weichem Eisen, so hebt oder senkt sie sich während der Drehung, wenn man mit einem Magnetpole ihr vorangeht oder ihr folgt und dadurch die horizontale Drehung der Axe beschleunigt oder verzögert. Diese Rotation nimmt ab oder zu, je nachdem man den Magnetpol unterhalb oder oberhalb der Scheibe hält.

Ueberzeugt, dass der ganze in Bewegung gesetzte Apparat durch eine verticale Axe, welche auf einer blossen Spitze ruht, getragen werden könne, schlug ich Herrn Fessel noch eine andere Modification in der Ausführung vor. Als Augenzeuge kann ich zwar über den Erfolg nicht berichten, aber was nicht zu bezweifeln war, ist wirklich eingetroffen.*)

Die Beziehung der Fessel'schen Maschine zu der Bohnenberger'schen springt in die Augen. In dieser dreht sich Alles um den Mittelpunkt der Figur, und die Axe muss durch ein Uebergewicht auf einer Seite beschwert werden. In jener bildet der Rotationskörper, der *nicht* in seiner Mitte unterstützt ist, selbst das Uebergewicht, zu welchem das Gewicht des ihn haltenden Ringes noch hinzukommt. Hiernach bietet sich sogleich eine Verallgemeinerung der Construction der Bohnenberger'schen Maschine dar, wobei man den Rotationskörper auf seiner Axe aus der Mitte des inneren Ringes herausrücken lässt.

Doch es ist meine Absicht nicht, hier alle diese Modificationen des Apparates zu beschreiben, mit deren Ausführung die kunstfertige Hand des Herrn Fessel gegenwärtig beschäftigt ist.

*) Es bezieht sich hierauf der Eingang des oben mitgetheilten Briefauszugs.

49.

Untersuchungen über Dämpfe und Dampfgemenge.

(Annalen der Physik und Chemie, Bd. 92, S. 193—220, 1854.)

§ 1.

Einleitung.

1) Das Mariotte'sche Gesetz, nach welchem die Spannkraft eines Gases im umgekehrten Verhältnisse der Dichtigkeit desselben steht, wurde von Dalton auf ein Gemenge von verschiedenen Gasen ausgedehnt. Mit grösserer oder geringerer Leichtigkeit mengen sich in einem abgesperrten Raume zwei oder mehrere Gase vollständig, und dann ist die Spannkraft des Gemenges der Summe der Spannkräfte der verschiedenen Gase, einzeln für sich und nach dem Mariotte'schen Gesetze genommen, gleich. Man hat dieses so ausgedrückt, dass jedes der Gase sich in Beziehung auf die übrigen wie ein leerer Raum verhalte. Bestimmter ausgedrückt heisst dies, dass ein Gas der Spannkraft eines anderen keinen, oder nur einen allmählig verschwindenden Widerstand darbietet und daher durch dasselbe sich frei verbreitet, wenn nicht momentan, doch nach einer kürzeren oder längeren Zeit. Das Dalton'sche Gesetz besteht auch dann, wenn eines der permanenten Gase durch den Dampf einer Flüssigkeit, welcher für die gegebene Temperatur unter dem Maximum seiner Dichtigkeit sich befindet, ersetzt wird. Es besteht auch dann, wenn in einem abgesperrten, ein permanentes Gas enthaltenden Raume eine Flüssigkeit sich befindet. Aus dieser entwickeln sich so lange Dämpfe, bis dieselben das Maximum ihrer Spannkraft erreicht haben. Das permanente Gas übt also keinen Druck auf diese Dämpfe aus, die im entgegengesetzten Falle sich condensiren müssten. Diese Gesetze Dalton's sind von Physikern ersten Ranges, namentlich von Gay-Lussac, mit Sorgfalt verificirt worden.

2) Aber die Frage ist hiermit noch lange nicht erschöpft. Durch sorgfältig angestellte Beobachtungen steht nun fest, dass die Spann-

kraft des Dampfes, welcher bei gegebener Temperatur mit gemischten Flüssigkeiten, aus denen er sich entwickelt, in Berührung ist, von dem Mischungsverhältnisse der Flüssigkeiten in *ganz constanter* Weise abhängt. Die Erklärung dieser Thatsache führt uns zu der Absorption der permanenten und condensirbaren Gase durch Flüssigkeiten zurück.

3) Wenn Luft mit Wasser in Berührung ist, so wird, während einerseits eine bestimmte Menge von Wasserdampf mit der Luft sich mengt, andererseits eine bestimmte Menge von Luft durch das Wasser absorbirt. Unter Voraussetzung einer constanten Temperatur wird bei einer Compression der äusseren Luft eine grössere Menge derselben absorbirt, die, wenn die Compression nachlässt, wieder entweicht. Es findet also eine Wechselwirkung zwischen Luft und Wasser statt in der Art, dass das Wasser gleichmässig von Luft durchdrungen wird, und die Menge der dasselbe durchdringenden Luft mit der Dichtigkeit der äusseren Luft fluctuirt. Hier ist das Gesetz der Proportionalität aufgestellt worden.

Nach dieser Auffassungsweise nehmen wir also an, dass, ähnlich wie ein Gas unter mehr oder weniger Widerstand ein anderes Gas durchdringt, ebenso Wasser von Luft durchdrungen werde, die, durch Molecularkräfte in Spannkraft modificirt, bei ihrer Bewegung in demselben mehr oder weniger Widerstand findet. Wenn wir dann noch dieser Annahme hinzufügen, dass die fraglichen Molecularkräfte im Innern des Wassers auf mehr oder weniger dichte absorbirte Luft gleichmässig einwirken, so würde daraus nothwendig folgen, dass nach kürzerer oder längerer Zeit, sobald die Spannkräfte der äusseren und der absorbirten Luft sich ins Gleichgewicht gesetzt haben, ein constantes Dichtigkeitsverhältniss zwischen jener Luft und dieser sich ergebe.

4) Ueber die hier einschlagenden Fragen erscheinen neue Versuche höchst wünschenswerth. So viel ich weiss, liegen keine Bestimmungen vor, aus denen man eine klare Anschauung entnehmen könnte über den der Absorption eines Gases durch eine Flüssigkeit sich entgegenstellenden Widerstand, oder, was hiermit zusammenhängt, über die zu einer solchen Absorption erforderliche Zeit und die Art und Weise, wie überhaupt dieselbe erfolgt. Ob immer und ob namentlich auch zwischen weiteren Grenzen das Gesetz der Proportionalität zwischen der Dichtigkeit des auf die Flüssigkeit drückenden und des von ihr absorbirten Gases sich bewähre, ist nach dem, was vorliegt, immer noch in Frage zu stellen, ja sogar sehr zu bezweifeln.

Der Zustand, in welchem ein absorbirtes Gas sich befindet, wird insbesondere in solchen Fällen höchst räthselhaft, wo der Körper (fest

oder flüssig gilt hier gleich) ein Vielfaches seines scheinbaren Volumens, das Hundertfache und mehr, auch eines durch äusseren Druck nicht condensirbaren Gases (Sauerstoffgas) in seine Poren aufnimmt. Hier müssen wir, wenn dennoch die Gase im Innern des Körpers ihren Aggregatzustand nicht ändern sollten, annehmen, dass die Molecularkräfte die freie Spannkraft des Gases in enormem Verhältnisse vermindern, damit dasselbe sich mit dem äusseren Gase ins Gleichgewicht setze.

5) Wasser, statt in eine Atmosphäre von Luft in eine Atmosphäre von Alkoholdampf gebracht, absorbirt diesen wie jene, condensirt ihn aber gleichzeitig in Folge der Contraction, die er erleidet; andererseits steigt Wasserdampf in die Alkoholatmosphäre auf. Es stellt sich auch hier ein Zustand des Gleichgewichtes her. Alkohol, in eine Atmosphäre von Wasserdampf gebracht, verhält sich analog. Demnach würde sich die Erwartung rechtfertigen, dass, wenn zwei Gefässe, das eine Alkohol, das andere Wasser enthaltend, beide ihre Dämpfe in denselben abgeschlossenen Raum aushauchen, durch diese Dämpfe die Einwirkung der beiden Flüssigkeiten auf einander *vermittelt* werde, und dass zuletzt nach kürzerer oder längerer Zeit der Dampf ein bestimmtes Mischungsverhältniss zeigen, und die Flüssigkeit in den beiden Gefässen identisch dieselbe werden müsse. Die Sache verhält sich also gerade so, als ob die beiden Flüssigkeiten ursprünglich gemischt gewesen wären und Dämpfe in den abgesperrten Raum ausgesendet hätten, deren Mischungsverhältniss bei gegebener constanter Temperatur allein von dem Mischungsverhältnisse der Flüssigkeiten abhängt. Diese Abhängigkeit ist eine vollkommen constante, und so ergiebt sich ein schätzbares Mittel, aus der Spannkraft der aus einer gemischten Flüssigkeit in einen abgeschlossenen Raum aufsteigenden Dämpfe unmittelbar den Gehalt der Flüssigkeit zu bestimmen.

6) Das Vorstehende lässt sich auch auf den Fall übertragen, dass in einer Flüssigkeit feste, einer nachweislichen Verdampfung nicht unterworfene Körper aufgelöst enthalten sind. Die Spannkraft der Wasserdämpfe, die zum Beispiel aus einer Kochsalzlösung in einen abgesperrten Raum aufsteigen, ist um so geringer, je mehr Salz sich in der Lösung befindet. Die Bestimmung dieser Spannkraft, bei 100° C. genommen, giebt den Salzgehalt einer Soole wenigstens so genau, als die feinste Salzspindel.

7) Wenn reines Wasser frei siedet, so hat ein Dampfbläschen im Innern desselben eine Spannkraft, welche dem äusseren Drucke gleich ist. Es liegt hier die Auffassung nahe, ein solches Dampfbläschen als eine Ansammlung von Wasserdampf zu betrachten, der im siedenden

Wasser absorbirt ist, und der hiernach dieselbe Dichtigkeit haben muss, als der aus der Flüssigkeit frei aufsteigende Dampf, so dass in diesem Falle die im Innern thätigen Molecularkräfte keine Wirkung auf den vom Wasser absorbirten Dampf ausüben. Anders aber verhält es sich zum Beispiel in einer Lösung von Kochsalz. Hier bringen die veränderten Molecularkräfte eine Verminderung der Spannkraft eines Bläschens von Wasserdampf im Innern der Lösung hervor. Es kann dasselbe bei der Temperatur des siedenden Wassers nicht mehr bestehen: es condensirt sich. Eine Folge davon ist, dass die Lösung erst bei höherer Temperatur siedet, und dass die bei der gewöhnlichen Siedetemperatur aus der Flüssigkeit in einen abgesperrten Raum aufsteigenden Dämpfe eine geringere Spannkraft haben, als in dem Falle des blossen Wassers. Die Spannkraft der Dämpfe, welche bei einer constanten Temperatur ein Mal aus der Lösung, das andere Mal aus dem Wasser in einen abgesperrten Raum aufsteigen, geben hiernach für diese Temperatur das *relative* Maass für die in den beiden Fällen wirksamen Molecularkräfte und das Gesetz ihrer Zunahme mit dem wachsenden Salzgehalte.

Sobald die Dämpfe beim freien Sieden der Lösung aus dem Innern derselben in die Atmosphäre aufsteigen, wird ihre Spannkraft nach Aussen grösser, und indem diese sich mit dem Atmosphärendrucke ins Gleichgewicht setzt, nehmen sie mit dem grösseren Volumen zugleich die gewöhnliche Siedetemperatur des Wassers an.

8) Es begegnet uns hier die weitere Frage, ob die entstehenden Dampfbläschen in dem Innern einer frei siedenden Mischung von Alkohol und Wasser — um diese Flüssigkeiten beispielsweise wieder hier anzuführen — von Molecularkräften *nicht* afficirt, dieselbe Spannkraft haben, als später, bis sie, immer wachsend, zuletzt aus der Flüssigkeit aufsteigen und dann die Spannkraft der äusseren Luft theilen, ob, mit anderen Worten, hier der Fall des Wassers oder der Fall der Salzlösung eintritt. Im ersteren Falle liesse sich aus der gegebenen Siedetemperatur und der bei dieser Temperatur beobachteten Spannkraft der beiderseitigen Dämpfe nach dem Mariotte'schen Gesetze die Zusammensetzung des Dampfgemenges berechnen und also auch rückwärts aus dieser Zusammensetzung die Siedetemperatur des Gemenges.

9) Directe Bestimmungen der Siedetemperatur gemischter Flüssigkeiten können unmöglich genaue Resultate geben. Solche lassen sich nur erzielen, wenn wir diesen Bestimmungen das Princip zu Grunde legen, dass eine Flüssigkeit bei derjenigen Temperatur siedet, bei welcher die aus ihr in einen abgesperrten Raum aufsteigenden Dämpfe

einen Druck ausüben, der dem Atmosphärendrucke gleich ist. Ein zu diesem Ende construirter Apparat wird später seine Beschreibung finden. Es ist dieses der allgemeine Apparat von § 2, nur vereinfacht und so modificirt, dass man ihm besser die jedesmalige erforderliche Temperatur geben kann.

10) Der Procentgehalt y eines Dampfgemenges, das, um bei demselben Beispiele zu bleiben, aus einer Mischung von Alkohol und Wasser — sei es bei einer constanten Temperatur, oder bei der wechselnden Siedetemperatur oder überhaupt unter gegebenen Bedingungen — sich entwickelt, bestimmt sich durch die Spannkraft desselben und ist demnach eine gegebene Function des Procentgehaltes x der Mischung:

$$y = f(x).$$

Es liegen hierin die Elemente einer mathematischen Theorie der Destillation. Die desfallsige Aufgabe können wir in folgender Weise formuliren. Eine gegebene Menge μ der Mischung hat einen bekannten Procentgehalt ξ; welches ist, nachdem μ auf m sich reducirt hat, der Procentgehalt x der zurückgebliebenen Flüssigkeit?

In irgend einem Momente sei m die Menge der Mischung, und x ihr Procentgehalt; also

$$\frac{mx}{100}$$

die Menge der in ihr enthaltenen abzudestillirenden Flüssigkeit. Es verdunste von der Mischung die kleine Menge dm, die, wenn ihr Procentgehalt y ist,

$$\frac{y\,dm}{100}$$

von jener Flüssigkeit enthält. Demnach ist der Procentgehalt der zurückbleibenden Flüssigkeit

$$x - dx = \frac{mx - y\,dm}{m - dm},$$

mithin

$$dx = (y - x)\frac{dm}{m},$$

und wenn wir integriren,

$$m = \mu e^{\int \frac{dx}{y - x}}.$$

Unter dem Integral ist $f(x)$ für y zu schreiben, und dasselbe von ξ bis x zu nehmen.

11) Endlich ergeben sich noch merkwürdige Affinitätsbeziehungen, die wir auf Zahlen zurückführen können, wenn wir zu einer Mischung zweier Flüssigkeiten noch eine dritte hinzubringen, oder, worauf ich mehr Gewicht noch lege, wenn wir in der Mischung Salze auflösen

und dann die Spannung der Dämpfe und aus dieser die Zusammensetzung derselben bestimmen. So vermehrt zum Beispiel Wasser, zu einer Mischung von Alkohol und Schwefeläther gebracht, die Spannkraft des Dampfgemenges, vermindert die Siedetemperatur der Mischung. Ebenso vermehrt Kochsalz namhaft die Spannung der aus einer Mischung von Alkohol und Wasser in einen abgesperrten Raum aufsteigenden Dämpfe und vermindert, was damit in nothwendiger Verbindung steht, die Siedetemperatur der Mischung. Zucker verhält sich so gut wie indifferent. Auf diesem Wege begegnen wir neuen, nicht unwichtigen physikalischen Constanten.[1])

12) Die vorstehenden Andeutungen mögen hinreichen, um eine Uebersicht der folgenden Untersuchungen zu gewähren. Die Veranlassung zu denselben hat mir Herr Geissler gegeben, der in den ersten Monaten des Jahres 1852 von einem hiesigen Industriellen aufgefordert worden war, ein Instrument zur genauen Bestimmung des Alkohols im Weine, nach und nach während seiner Bereitung, zu construiren. Er zeigte mir damals einen Apparat vor, den er selbständig construirt hatte, und ich war überrascht, wie ein paar Tropfen Alkohol in einer grösseren Wassermenge in so constanter Weise angezeigt wurden. Nach seiner Aussage hatte er zuerst versucht, den Alkoholgehalt durch die Siedetemperatur der Mischung zu bestimmen, und da diese Methode sich nicht bewährt hatte, weil die Entweichung der Dämpfe den Alkoholgehalt fortwährend ändert, kam er auf den Gedanken, diese Dämpfe einzuschliessen, und construirte so seinen Apparat, in welchem aus der zu untersuchenden Flüssigkeit bei der Siedetemperatur Dämpfe in einem gemessenen, mit Luft angefüllten Raum sich entwickelten und auf das zur Absperrung dienende Quecksilber je nach dem Alkoholgehalte mehr oder weniger drückten. Auf meine Bemerkung, dass die Luft bloss störend sich verhalten könne, und der Apparat besser so modificirt würde, dass die Dämpfe in einem luftleeren Raume sich bildeten, fand ich zwei Tage später den Apparat in derjenigen Form, in welcher er unter dem Namen „*Vaporimeter*“ im In- und Auslande patentirt worden ist.

Die praktisch-ökonomische Frage geht allein Herrn Geissler an. Aber auch von bloss theoretischer Seite schien mir die Sache von so grossem Interesse, dass ich, um dieselbe weiter zu verfolgen, mich wiederum, wie bei einer früheren Gelegenheit, an die Kunstfertigkeit desselben wandte und einen für weitere Untersuchungen dienenden Apparat ausführen liess.

§ 2.

Beschreibung des Apparates.

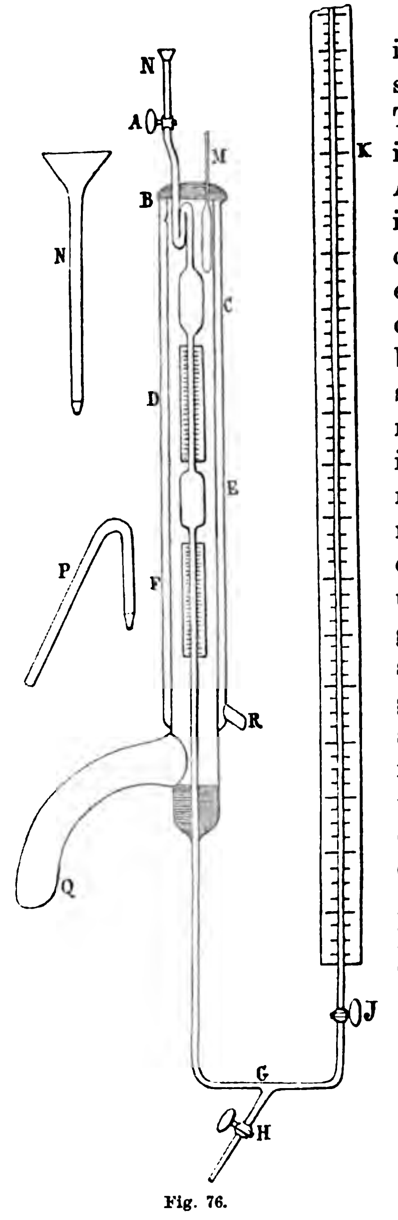


Fig. 76.

13) Ich nehme hier, wie es auch in der nebenstehenden Figur 76 geschehen ist, nur auf den wesentlichen Theil des Apparates Rücksicht, ohne in das Detail seiner Befestigung und Aufstellung einzugehen. Der Apparat, in welchem Flüssigkeiten und die aus denselben bei der Siedetemperatur sich entwickelnden Dämpfe, oder auch Gase durch Quecksilber abgesperrt werden, besteht aus einer oben mit dem gläsernen Hähnchen *A* versehenen mehrmals gebogenen engen Röhre *B*, welche in eine weitere barometerartige Röhre mündet, die $0{,}89^m$ vertical herunterreicht, dann $0{,}09^m$ lang horizontal und endlich wieder vertical umgebogen ist und bei einer Erhebung von $0{,}07^m$ einen gläsernen Hahn *J* eingesetzt hat. Jenseits desselben ist die Steigröhre *K* angeschmolzen. Zwei weitere Glascylinder sind der vertical heruntergehenden Glasröhre eingesetzt, beide etwa $0{,}05^m$ hoch und $0{,}009^m$ weit. Der erste derselben *C* ist vom oberen Ende der Röhre etwa $0{,}08^m$ entfernt, und die Länge der Röhre zwischen diesem und dem zweiten Cylinder *E* beträgt $0{,}14^m$. An diesem Theil der Röhre ist eine in 228 willkürliche Theile*) getheilte Scala *D* von durchscheinendem Milchglase befestigt, und eine zweite solche Scale *F* unterhalb des zweiten Cylinders *E*. Von oben herab in einer Länge von $0{,}67^m$ ist die herabgehende Röhre mit den beiden eingesetzten Glascylindern *C* und

*) Diese Theile sind doppelt so gross als die Theile der Theilmaschine, deren 3,42 ein Millimeter geben.

E von einem 25^{mm} weiten Glascylinder umschlossen, in dessen unteren Theil eine umgebogene Glasröhre Q von nahe gleicher Weite eingesetzt ist, die in das metallische Kochgefäss von oben hineinreicht. Dieser einschliessende Cylinder wird seinerseits durch einen zweiten 35^{mm} weiten Glascylinder umschlossen, der von oben herab bis zu dem Dampfleitungsrohre Q führt. Beide Cylinder sind oben durch einen Kork verschlossen, durch welchen die enge Röhre B hindurchgeht, sowie ein Thermometer M, das in den inneren umschliessenden Cylinder bis zum Cylinder C hineinreicht. Der innere umschliessende Cylinder ist unten mit Gyps ausgegossen, so dass herabträufelndes Wasser durch die Röhre Q in das Kochgefäss zurückläuft. Er hat in dem oberen Theile seiner Wandung eine Oeffnung von etwa einem Quadratcentimeter. Durch diese tritt der Dampf, welcher aus dem Kochgefässe durch die Röhre Q aufsteigt, in den Zwischenraum zwischen den beiden umschliessenden Cylindern, von wo er durch eine dem äusseren Cylinder unten eingesetzte Röhre R in die Luft geleitet wird. Die Beobachtungen zeigen, dass die aus dem Kochgefässe aufsteigenden Wasserdämpfe das Innere des Apparates in seiner ganzen Länge vollkommen gleichmässig erwärmen, wenigstens findet nicht ein Temperaturunterschied von 0,016^{0} statt. Das Thermometer M ist eines der schönen Geissler'schen, dessen aus dem Apparate herausragende Scale, die von 60^{0} bis 120^{0} C. reicht, in $^1/_{25}$ Grade getheilt ist, wovon man noch den 4. Theil, also Hundertelgrade, gut ablesen kann. Mit einem in $^1/_{1000}$ Grade getheilten Barothermometer zeigte sich eine vollkommene Uebereinstimmung zwischen der äusseren Siedetemperatur und der Temperatur im Innern des Apparates. Die Scale ist absichtlich unter 100^{0} weiter herabgeführt, um an Stelle der constanten Siedetemperatur des Wassers diejenige des absoluten Alkohols setzen zu können.

Am oberen Ende der Röhre B, oberhalb des Hahnes A, ist eine Röhre eingeschliffen, die in einen Trichter N sich erweitert, bestimmt, Flüssigkeiten aufzunehmen; sie kann ersetzt werden durch eine andere eingeschliffene Röhre P, die bestimmt ist, Flüssigkeiten oder Gase einzusaugen und aus dem Apparate zu etwaiger späterer Prüfung wieder auszuführen.

In dem horizontalen Theile G der Hauptröhre ist eine mit einem gläsernen Hahne H versehene, spitz ausgezogene Röhre angeschmolzen, um das Quecksilber langsam aus dem Apparate ablassen zu können.

Die Steigröhre K oberhalb des Hahnes J hat eine Höhe von 2,25^{m}; an ihrem oberen Ende ist eine zweite Röhre L, die fortgenommen werden kann, eingeschliffen. Die Steighöhe oberhalb des Hahnes J wird dadurch auf 5^{m} vermehrt.

An der Steigröhre ist auf einem trockenen Holzstreifen eine Scale angebracht, welche durch feste Punkte, die auf der Röhre selbst bezeichnet sind, controlirt wird. Die Theilung der Scale ist wiederum eine willkürliche. Es gehen 3,42 Theile auf ein Millimeter; die einzelnen Theile werden geschätzt, die doppelten unmittelbar abgelesen.

14) Ueber den Gebrauch des Apparates im Allgemeinen füge ich noch einige Bemerkungen hinzu.

Die Füllung mit Quecksilber geschieht durch die obere Oeffnung der Steigröhre; das Zuströmen desselben in das Innere des Apparates kann durch ein nur theilweises Oeffnen des Hahnes beliebig ermässigt werden. Durch das geöffnete Hähnchen A wird alle Luft aus dem Innern des Apparats herausgedrückt, und auch ein Theil des Quecksilbers in den Trichter N getrieben. Das Hähnchen A wird dann geschlossen, und auf dieses Quecksilber die Flüssigkeit gegossen, welche in den Apparat gebracht werden soll. Während der Hahn J geschlossen bleibt, wird das Hähnchen A geöffnet und ebenso theilweise der Hahn H. Aus diesem fliesst dann Quecksilber aus, und durch A hindurch wird die aufgegossene Flüssigkeit langsam eingesogen. Bevor dieses aber vollständig geschehen, wird Quecksilber in den Trichter nachgegossen, dieses folgt dann der Flüssigkeit durch die Windungen der Röhre B, bis es aus derselben herausfällt. Dann wird der Hahn H geschlossen und zuletzt auch das Hähnchen A, das nun von Quecksilber zu beiden Seiten umgeben, auch bei möglichst starkem Drucke auf beliebige Zeit eine vollkommene Absperrung giebt.

In vielen Fällen ist es nothwendig, statt des aufgesetzten Trichters sich der umgebogenen Röhre zu bedienen, die dann, nachdem sie ganz mit Quecksilber gefüllt ist, in die einzusaugende Flüssigkeit und dann in Quecksilber eingetaucht wird.

15) Wenn noch mehr Quecksilber durch den Hahn H herausgelassen wird, so bildet sich in dem Cylinder C und in der Röhre darüber ein mit Dämpfen angefüllter, von der äusseren Luft abgesperrter Raum. Um die Spannkraft dieser Dämpfe bei der Siedetemperatur des Wassers zu bestimmen, wird, nachdem das Innere des Apparates diese constante Temperatur angenommen hat, und der Hahn J geöffnet worden, soviel Quecksilber aus H herausgelassen, bis dasselbe im Innern zu einem beliebig bestimmten Theilpunkte einer der beiden Scalen D oder F herabgesunken ist, bei welcher Operation es durch Aufgiessen frischen Quecksilbers in die obere Oeffnung der Steigröhre wieder heraufgedrückt werden kann. Nachdem das Gleichgewicht nach etwa einer Viertelstunde sich vollkommen hergestellt hat, wird dann der Stand s des Quecksilbers in der Steigröhre abgelesen, zugleich mit der durch das

Thermometer M angezeigten Temperatur. Vorher schon ist der Stand s' des Quecksilbers ein für alle Mal bestimmt, wenn bei gleicher Temperatur und bei geöffnetem Hähnchen A im Innern nur Qnecksilber und keine Flüssigkeit sich befindet, und jenes an demselben beliebigen Theilpunkte der Scalen D oder F steht. Dann ist bei einer Siedetemperatur von 100° C. die Spannkraft der eingeschlossenen Dämpfe durch die Länge einer Quecksilbersäule von $(760 + s - s')^{mm}$ gegeben. Davon ist nur noch abzuziehen der Druck der Flüssigkeitssäule im Innern, der sich leicht auch an der äusseren Steigröhre in Quecksilberdruck bestimmen, in vielen Fällen auch eliminiren lässt.

Eliminirt sind auf diesem Wege aber vollständig alle Correctionen, welche die verschiedene Temperatur des Quecksilbers in den verschiedenen Theilen des Apparates betreffen. Es bleibt nur die Temperatur des Quecksilbers in der Steigröhre zu berücksichtigen. Diese ändert sich bei gleicher äusserer Temperatur nicht merklich, wenn wir nur durch rechtzeitiges Schliessen des Hahnes J dem etwaigen Eintreten des heissen Quecksilbers aus dem Innern des Apparates in die Steigröhre vorbeugen.

16) Die Räume im Innern des Apparates sind vermittelst Quecksilber genau calibrirt, wobei die Scalen D und F die Anhaltepunkte geben. Wir können hiernach bei der gewöhnlichen, sowie bei der Siedetemperatur die Volumina der eingebrachten Flüssigkeit und des Dampfes bestimmen. Dadurch sind wir insbesondere auch in den Stand gesetzt, die von Flüssigkeiten, insbesondere von Wasser absorbirte Luft zu bestimmen. Wir bringen zu diesem Ende das Wasser kalt in den Apparat und kochen: dann entweicht ein Theil der absorbirten Luft in den Dampfraum. Um alle Luft fortzuschaffen, genügt eine blosse Erwärmung des Wassers nicht, dazu ist nothwendig, dass dasselbe im Apparate in Bewegung gesetzt werde. Dies wird vermittelst einer wiederholten Abkühlung durch zeitweiliges Fortnehmen der Lampe erreicht. Nachdem alle Luft entwichen ist, wird der Stand des Quecksilbers, der dann constant ist, im Innern und ausserhalb an der Steigröhre abgelesen, und hierauf, während fortwährend gekocht wird, der Hahn A, welcher hier zu beiden Seiten nicht von Quecksilber umgeben ist, vollständig geöffnet. Dadurch ändert sich das frühere Quecksilberniveau, das im Innern durch Herauslassen von Quecksilber wieder hergestellt wird. Der Unterschied des ursprünglichen und des hiernach sich einstellenden Quecksilberniveaus in der Steigröhre giebt die Spannkraft der aus dem Wasser ausgeschiedenen Luft, deren Dichtigkeit sich hiernach aus dem Volumen, das sie einnimmt, berechnet.

17) Wir können auch Wasser in dem Apparate selbst unter einem

beliebigen Drucke, bis zu mehr als sechsfachem Atmosphärendrucke, mit Luft in Berührung bringen und eine bestimmte Zeit hindurch damit in Berührung lassen. Man saugt zu diesem Ende wie bisher Wasser, dann Luft (oder ein anderes Gas), endlich zum Absperren wieder Quecksilber ein und comprimirt dann durch Quecksilber, das oben in die Steigröhre langsam hineingebracht wird. Ohne den Druck zu ändern, wird dann das Quecksilber in der Röhre *B* und die nicht absorbirte Luft durch theilweises Oeffnen des Hähnchens *A* herausgedrückt, bis Wasser über dasselbe nachdringt. Dann wird dieses Hähnchen wieder geschlossen und dadurch, dass man aus *H* Quecksilber ausfliessen lässt, der Druck beliebig vermindert.

§ 3.

Bestimmung der Spannkraft des luftfreien absoluten Alkoholdampfes bei 100° C.*)

18) Der angewendete Alkohol hatte, nachdem er mit Kalk destillirt worden war, bei 13,75° C. das specifische Gewicht 0,792. Durch längeres Auskochen wurde derselbe luftleer gemacht. Von dem ausgekochten Alkohol wurden etwa 4^{cc} in den Apparat gebracht und in demselben unter Oeffnen des Hähnchens *A* von Neuem bei der Siedehitze des Wassers gekocht. Die Beobachtungen wurden bei dreifachem Dampfvolumen gemacht. Wenn das Innere des Apparates durch die Dämpfe des siedenden Wassers erwärmt war, stand bei dem kleinen, mittleren und grossen Dampfvolumen das Quecksilber innerhalb bezüglich im oberen Theile in der Röhre *D*, im unteren Theile derselben Röhre und im oberen Theile der Röhre *F* an bestimmten Marken, während die Oberfläche des über dem Quecksilber befindlichen Alkohols im ersten Falle in dem weiten Cylinder *C*, im zweiten in dem oberen Theile der Röhre *D*, im letzten in dem weiten Cylinder *E* sich befand. Dem entsprechend stand (vergleiche die 15. Nummer des vorigen Paragraphen) das Quecksilber in der äusseren Steigröhre bezüglich bei

1110 852 324.

Diese Stände verlangen noch eine Correction wegen der im Innern auf das Quecksilber drückenden Alkoholsäule.

Diese Säule hatte für die verschiedenen Quecksilberstände bezüglich die Höhe von

110 340 160

*) Die Beobachtungen dieses und des folgenden Paragraphen habe ich mit Herrn Geissler gemacht.

Scalentheilen, welche auf Quecksilberdruck reducirt

5,5 17 8

solcher Theile betragen, wobei wir mit hinlänglicher Genauigkeit den siedenden Alkohol 20 Mal leichter als Quecksilber annehmen. Von den zu beobachtenden Quecksilberständen in der äusseren Steigröhre, durch welche die Spannkraft des Alkoholdampfes bestimmt werden soll, sind also bezüglich

1115,5 869 332

Scalentheile abzuziehen.

19) Durch schickliches Oeffnen und Schliessen des Hahnes J wurde Sorge getragen, dass das warme Quecksilber aus dem Innern des Apparates nicht in die Steigröhre K träte (15), und überhaupt wurde bei jeder Bestimmung, bevor abgelesen wurde, so lange gewartet, bis die Temperatur sich ausgeglichen und namentlich der unten herausragende Theil der Röhre F die gewöhnliche Temperatur angenommen hatte. Die Lufttemperatur, sowie die Temperatur des Quecksilbers in der Steigröhre betrug 23° bis 25° C.

20) In der nachstehenden Tabelle sind die Resultate der Beobachtungen zusammengestellt, welche innerhalb 10 Tagen, während welcher der Alkohol hermetisch verschlossen in dem Apparate verblieb, angestellt worden sind. Während dieser Zeit schwankte die Siedetemperatur des Wassers von 99,20° bis 100,10°. Unsere Beobachtungen enthalten also die entsprechenden Schwankungen in der Spannkraft der Alkoholdämpfe. Die Siedetemperatur wurde an dem Thermometer des Apparates abgelesen, das mit einem Geissler'schen Barothermometer, welches in der Nähe des Siedepunktes in Tausendtel-Grade getheilt war, verglichen, fortwährend eine vollkommene Uebereinstimmung zeigte. Bei jeder Beobachtung wurde vom kleinen zum mittleren, von diesem zum grossen Dampfvolumen übergegangen und von diesem zum kleinen wieder zurück. Das letztere unterblieb bei der 5. und 7. Beobachtung; bei der 1. Beobachtung wurde auch noch zu dem grossen Dampfvolumen zum zweiten Male übergegangen. Die 8. Beobachtung bezieht sich bloss auf das kleine Dampfvolumen.

1. Beobachtung.

Siedetemperatur	Quecksilberdruck in Scalentheilen
99,74°	3163,5
	3165
	3168

Siedetemperatur	Quecksilberdruck in Scalentheilen
99,80°	3170,5
99,83	3172
Mittel.*)	
99,78	3168
2. Beobachtung.	
99,19°	3098,5
	3099
	3102
99,20	3101,5
Mittel.	
99,20	3100
3. Beobachtung.	
99,53°	3135,5
99,55	3138
99,57	3137
99,58	3138,5
Mittel.	
99,56	3137
4. Beobachtung.	
100,10°	3194
	3199
	3196
100,11	3196,5
Mittel.	
100,10	3196
5. Beobachtung.	
99,50°	3129
99,50	3131
99,50	3130
Mittel.	
99,50	3130
6. Beobachtung.	
99,68°	3160,5
99,69	3163
99,70	3162
99,70	3163,5

*) Das Mittel ist genommen in der Voraussetzung eines *gleichmässigen* Steigens der Siedetemperatur während der Dauer der Beobachtung.

Siedetemperatur	Quecksilberdruck in Scalentheilen
Mittel.	
99,69	3162
7. Beobachtung.	
100,03°	3187
100,05	3191
100,05	3188
Mittel.	
100,04	3189
8. Beobachtung.	
100,02	3186

Die vorstehenden Beobachtungen weisen keinen Einfluss des verschiedenen Dampfvolumens nach: ein Beweis, dass der Alkohol luftleer war.

21) In unseren Beobachtungen ist der grösste Unterschied in der Siedetemperatur 0,90° und der entsprechende Unterschied im Quecksilberdrucke 96 Scalentheile. Machen wir demnach die Annahme, dass dieser Druck innerhalb der obigen Grenzen gleichmässig mit der Temperatur steige, so ergiebt sich die folgende Zusammenstellung.

	Quecksilberdruck.		
Siedetemperatur	*A* beobachtet	*B* berechnet	*A* — *B*
99,20°	3100	3100	0
99,50	3130	3132	— 2
99,56	3137	3138	— 1
99,70	3162	3153	+ 9
99,78	3168	3162	+ 6
100,03	3188	3188,5	— 0,5
100,10	3196	3196	0

Die Differenzen zwischen Beobachtung und Rechnung sind so gering, als sich nur erwarten liess: sie betragen im Maximum nur 2,6^{mm} und hätten durch einen grösseren Aufwand von Rechnung sich noch reduciren lassen. Sie lassen überdies schon innerhalb der engen Grenzen nicht verkennen, dass die Spannung der Alkoholdämpfe rascher als die Temperatur zunimmt.

22) Für die Normal-Siedetemperatur von 100° giebt unsere Zusammenstellung 3185,3 Scalentheile, oder durch 3,42 dividirt,

$$934{,}6^{mm}.$$

Reduciren wir diesen Quecksilberdruck auf 0°, indem wir für

unsere Glasröhren den Coëfficienten der scheinbaren Ausdehnung des Quecksilbers[2])

0,000153*)

nehmen, was für 24°

0,00368

giebt, so finden wir eine Reduction von 3,4^{mm} [4,1^{mm}], wonach

931,2^{mm} [930,5^{mm}]

bleibt. Indem wir hierzu 760^{mm} hinzufügen, ergiebt sich schliesslich *als Maass für die Spannkraft der luftleeren Dämpfe des absoluten Alkohols bei 100° C. eine Quecksilbersäule, deren Länge bei 0°*

1691,2^{mm} [1690,5]

beträgt.

23) Wir haben ferner innerhalb der Temperaturgrenzen 90,20° und 100,10° für jede Zunahme der Temperatur von 0,1° C. als mittlere Zunahme des Ueberschusses der Spannkraft des Alkoholdampfes über die Spannkraft des Wasserdampfes bei derselben Temperatur einen Quecksilberdruck von 10,66 Scalentheilen oder

3,12^{mm}

erhalten. Somit ergiebt sich, wenn wir hierzu die entsprechende Zunahme der Spannkraft der Wasserdämpfe, welche 2,69^{mm} in Quecksilberdruck beträgt, addiren, *für die Zunahme der Spannkraft der Alkoholdämpfe in der Nähe von 100° für jeden Zehntelgrad:*

5,81^{mm}.

§ 4.

Ueber die Spannkraft und das Mischungsverhältniss des Dampfes, der bei der Siedetemperatur des Wassers aus einem luftleeren Gemenge von Alkohol und Wasser sich entwickelt.

24) Da die Luft, welche von Wasser und Alkohol absorbirt ist und beim Sieden derselben sich entfernt, grössere Störungen in die Beobachtung der Spannkraft der aus beiden sich entwickelnden Dämpfe bringt, so mussten vor Allem luftleere Gemenge dargestellt werden, in welchen Alkohol und Wasser in bekanntem Verhältnisse gemischt waren. Hierbei wurde das folgende Verfahren eingeschlagen. Zwei Kugeln, A' und B' (Fig. 77), sind durch eine horizontale Röhre bc verbunden, die in ihrer Mitte einen fein durchbohrten Hahn d zum Absperren hat. Aus jeder Kugel steigt eine Röhre (ef, gh), die vorher vermittelst Quecksilber sorgfältig calibrirt worden ist, empor.

*) Poggendorff's Annalen, Bd. 86, S. 263.

Ebenso ist vorher der Gehalt jeder Kugel und des angrenzenden bis zum Hahn *d* gehenden Theiles der Querröhre bestimmt worden. An den oberen Enden der beiden Röhren *ef* und *gh* sind zwei etwas kleinere Kugeln (*k*, *m*) angeschmolzen. Aus dem oberen Theile der Kugel *k* geht eine enge Röhre *nop*, die in *o* umgebogen ist, so dass sie, von diesem Punkte an senkrecht gemessen, noch mehr als 760^{mm} sich herabsenkt. Es wurde bei geschlossenem Hahne *d* die Kugel *A'* bis zu diesem Hahne, die Röhre *ef* und der grössere Theil der Kugel *k* mit Alkohol vom specifischen Gewichte 0,792 bei 13,75° C. in der gewöhnlichen Weise dadurch gefüllt, dass die Kugel *A'* durch eine Spirituslampe erwärmt wurde, und während der Erkaltung die mit ihrem unteren offenen Ende in Alkohol eingetauchte enge Röhre diesen einsaugte. Dann wurde der Alkohol im Innern des Apparates fast eine halbe Stunde abwechselnd gekocht und wieder zum Theil abgekühlt, wobei er in heftige Wallungen gerieth, und alle absorbirte Luft entwich; endlich wurde während des Kochens das offene Ende der feinen Röhre unter Quecksilber getaucht, das in derselben bis zum vollständigen Erkalten des Apparates in die Höhe stieg. Diese Operation wurde so geregelt, dass nach der Erkaltung der Alkohol in dem oberen Theile der Röhre *ef* stand. Schliesslich wurde die Röhre in *o* abgeblasen und das Volumen des Alkohols bestimmt.

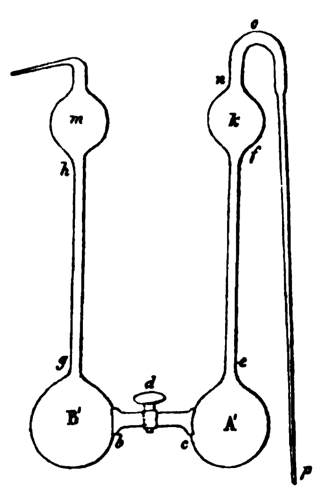


Fig. 77.

In gleicher Weise wurde darauf mit Wasser in der anderen Hälfte des Apparates verfahren. In der Röhre *ef* stand dann der Alkohol, in der Röhre *gh* das Wasser bis zu bestimmten Punkten, so dass beider Volume bei der angenommenen Normaltemperatur bestimmt waren. Dann wurden durch Oeffnen des Hahnes *d* und durch wiederholtes Umwenden des Apparates die Flüssigkeiten vollkommen mit einander gemengt, was eine längere Zeit erforderte. Zugleich war das Mittel geboten, die bei der Mengung stattfindende Contraction zu beobachten. Es wurde zu diesem Ende der Stand der gemengten Flüssigkeiten in einer der beiden Röhren auf den ursprünglichen gebracht, wobei dann in dem anderen Schenkel die Differenz des Standes gegen früher unmittelbar abgelesen werden konnte.*)

*) Die Uebereinstimmung der obigen Contractionsbeobachtungen mit den-

25) Mit Kugeln ($A'B'$) von verschiedenem Inhalte wurden solcher Bestimmungen *vier* gemacht, und aus diesen die in der nachstehenden Tabelle zusammengestellten Resultate gezogen.

Luftleere Mischungen bei 13,75° C.

	Wasser-	Alkohol-	Contraction		Menge des Alkohols		Specifisches Gewicht
	Menge		Volumen	Procent	Volumen-Procent	Gewichts-Procent	
	cc	cc	cc				
I.	164,7	23,2	1,9	1,01	12,35	10,03	0,9842
II.	187,0	80,4	7,5	2,805	30,07	25,40	0,9645
III.	117,7	113,2	8,4	3,64	49,025	43,24	0,9320
IV.	81,7	185,6	8,9	3,29	69,43	64,28	0,8847

Die Zahlen der drei ersten Verticalcolumnen sind beobachtet, die Zahlen der vier übrigen berechnet. Alle Beobachtungen sind bei der obigen Temperatur gemacht. Das specifische Gewicht der Mischungen ist mit Berücksichtigung der Contraction berechnet. Bei derselben Temperatur ist das specifische Gewicht des Wassers gleich Eins gesetzt, wonach die Beobachtung für den angewandten Alkohol 0,792 gab.*)

26) Um die luftleere Flüssigkeit in den grossen Apparat zu bringen, wurde die eine Hälfte des Apparates II. [Fig. 77], diejenige etwa mit der Kugel A', ganz mit derselben gefüllt und dann durch den Hahn abgesperrt. Der grosse Apparat mit der aufgesetzten Einsaugröhre P wurde ganz mit Quecksilber gefüllt, dann der Apparat II. in der Nähe der Einsaugröhre, unmittelbar oberhalb der Kugel A', in e durchschnitten und augenblicklich diese Röhre bis zum Boden der Kugel eingetaucht, wo

jenigen, welche Rudberg mit nicht luftleeren Flüssigkeiten gemacht hat, ist so gross, dass dabei die Luft augenscheinlich keine wesentliche Rolle spielt. Versuche, welche an Apparaten, die dem beschriebenen ähnlich sind, mit nicht luftfreiem Wasser und Alkohol angestellt wurden, haben gezeigt, dass bei der Mischung beider Luft in einer solchen Menge entweicht, dass dieselbe, in dem Raume eingeschlossen, um welchen das ursprüngliche Volumen der beiden Flüssigkeiten sich vermindert, eine Spannung zeigt, die einen Atmosphärendruck und einen Bruchtheil desselben beträgt. Die genauen Resultate dieser gelegentlich zu wiederholenden Versuche liegen mir nicht mehr vor.

*) Den obigen Gewichtsprocenten entsprechen nach Meissner die folgenden specifischen Gewichte

0,9830 0,9642 0,9324 0,8849,

wobei die Temperatur 14° C., das specifische Gewicht des absoluten Alkohols 0,7935 war, und dieser nicht luftfrei genommen wurde. Die geringen Differenzen sind:

0,0012 0,0003 0,0004 0,0002.

dann, bei verschlossenem Hahn J, die Hähne A und H geöffnet wurden. Auf diese Weise wurde eine grössere Menge von luftleerer Flüssigkeit eingesaugt, die zum Theil wieder nach Schliessung des Hahnes H durch theilweises Oeffnen des Hahnes J herausgedrückt wurde. Nachdem auf diese Weise die Quantität der Flüssigkeiten regulirt worden war, wurde die noch mit derselben angefüllte Einsaugröhre unter Quecksilber gebracht, und von diesem soviel, als zur Absperrung erforderlich war, eingesaugt. Die Absicht war, für alle vier Beobachtungen gleiche Flüssigkeitsmengen in den Apparat zu bringen. Dieses geschah bei den Mischungen I., II. und IV., aber durch ein nicht zu redressirendes Versehen wurde von der Mischung III. zu viel wieder herausgelassen. Bei der Siedetemperatur im Innern des Apparates gemessen, war das Volumen der Flüssigkeit nahe 4,5^{cc} bei den drei erst genannten Mischungen, 2,19^{cc} bei der Mischung III.

Um diese Volumina zum Behuf späterer Reductionen auf die Temperatur 13,75° C. zurückzuführen, nehmen wir für die Ausdehnung des Alkohols innerhalb des fraglichen Temperaturunterschiedes $^1/_9$, für die Ausdehnung des Wassers $^9/_{200}$ und berechnen dann die Ausdehnung für unsere Mischungen — da eine Annäherung hier vollkommen hinreicht — nach dem Verhältnisse des in denselben enthaltenen Alkohols und Wassers. Dann ergeben sich für die vier reducirten Volumina

4,26^{cc} 4,21^{cc} 2,02^{cc} 4,09^{cc}.

27) Die Bestimmung der Spannkraft der Dämpfe, die aus den Mischungen sich entwickelten, wurde, wie im vorigen Paragraphen für absoluten Alkohol, bei dem kleinen, mittleren und grossen Volumen für jede Flüssigkeit gemacht. Diese Volumina betrugen für I., II. und IV. nahe

10,16^{cc} 12,46^{cc} 28,76^{cc},

für III. der geringeren Flüssigkeitsmenge wegen

12,27^{cc} 14,57^{cc} 30,87^{cc}.

Die Flüssigkeit I. wurde zuerst eingefüllt und bei der Siedetemperatur von 99,8° die Spannkraft ihrer Dämpfe bestimmt, und diese Bestimmung am folgenden Tage bei 99,7° wiederholt. An dem darauf folgenden Tage wurden bei einer constanten Siedetemperatur von 99,8° nach jedesmaligem sorgfältigem Austrocknen des Apparates die übrigen drei Mischungen nach einander in denselben gebracht, um bei der bezeichneten Temperatur die Spannkraft ihrer Dämpfe zu bestimmen. Der Quecksilberdruck wurde wie beim absoluten Alkohol abgelesen, und von demselben der Druck der Flüssigkeit im Innern des Apparates abgezogen, wobei unter hinlänglicher Annäherung das specifische Ge-

wicht der Mischung wie oben die Ausdehnung derselben berechnet wurde.

28) Die Beobachtungen sind in der nachstehenden Tabelle zusammengestellt, wobei der Quecksilberdruck in unseren willkürlichen Scalentheilen gegeben ist:

Siedetemperatur 99,8° C.

Mischung	Kleines Volumen	Mittleres Volumen	Grosses Volumen
I.	1002	1000	983
II.	—	1833	1820
III.	2298	2291	2285
IV.	2713	2713	2709
Siedetemperatur 99,7° C.			
I.	998	—	977

29) Ein Blick auf diese Tafel zeigt uns, dass die Spannkraft bei grösserem Dampfvolumen eine kleinere ist, und dass dieser Unterschied bei den Flüssigkeiten von geringerem Alkoholgehalte stärker hervortritt. Wir werden eine genügende Erklärung dieser Thatsache darin finden, dass die übrig bleibende Flüssigkeit um so mehr an Alkohol verliert, als der Raum über derselben grösser ist, in welchem Dämpfe aus ihr aufsteigen, so dass wir zu der Annahme, dass trotz aller Vorsicht dennoch Luft in der Flüssigkeit geblieben sei, die, je nachdem sie beim Kochen in einen grösseren oder einen kleineren Raum entweicht, nach dem Mariotte'schen Gesetze die Spannkraft der Dämpfe weniger oder mehr vermehre, — unsere Zuflucht *nicht* zu nehmen brauchen.

30) Die Correction in dem Procentgehalte der jedesmaligen Mischung bei verschiedenem Dampfvolumen ist hiernach eine wesentliche, aber selbst bei erlaubten Abkürzungen eine etwas weitläufige.

Der Procentgehalt des jedesmaligen Dampfgemisches ergiebt sich aus der Spannkraft desselben. Man findet nämlich, wenn man diese Spannkraft*) e und die Volumenprocente Alkoholdampf in einem solchen Gemische p nennt und in Gemässheit des vorigen Paragraphen 3165 für die Spannkraft der Dämpfe des absoluten Alkohols bei 99,8° C. nimmt*):

$$p = \frac{e}{31,65},$$

und hieraus

$$\frac{p}{660} = a, \quad \frac{100 - p}{1700} = w,$$

*) [Es ist hier immer der *Ueberschuss* der Spannkraft über diejenige des Wasserdampfes gemeint.]

wobei wir das Gewicht des in 100[cc] des Dampfgemisches befindlichen Alkohols, in Grammen ausgedrückt, a und das ebenso ausgedrückte Gewicht des darin befindlichen Wassers w nennen und die Bestimmung von Gay Lussac zu Grunde legen, dass 1 Gr. Wasserdampf in der Siedetemperatur das Volumen von 1700[cc] und 1 Gr. Alkoholdampf in derselben Temperatur das Volumen von 660[cc] einnimmt.*) Für unseren Zweck brauchen wir nur angenäherte Constanten und demnach nehmen wir für unsere vier Mischungen e bezüglich gleich

1000 1830 2290 2710,

dann ergiebt sich:

	Mischung: I.	II.	III.	IV.
$p =$	31,59	57,82	72,35	85,62
$100 - p =$	68,41	42,18	27,65	14,38
$a =$	0,048	0,088	0,109	0,130
$w =$	0,040	0,025	0,016	0,0085

Hiernach befindet sich in dem Dampfvolumen:

		10,16[cc]	12,46[cc]	28,76[cc]
Alkohol	I.	0,005 gr.	0,006 gr.	0,014 gr.
	II.	—	0,011 „	0,025 „
	IV.	0,013 „	0,016 „	0,037 „
Wasser	I.	0,004	0,005	0,0115
	II.	—	0,003	0,007
	IV.	0,001	0,001	0,0025

und in dem Dampfvolumen

		12,27[cc]	14,57[cc]	30,87[cc]
Alkohol	III.	0,013 gr.	0,016 gr.	0,033 gr.
Wasser	III.	0,002 „	0,002 „	0,005 „

Die Mengen der nicht verdunsteten Flüssigkeiten im Apparate betragen für die vier Mischungen (26):

I.	II.	III.	IV.
4,26[cc]	4,21[cc]	2,02[cc]	4,09[cc],

und darin befindet sich *Alkohol*, ausgedrückt in

Volumenprocenten	12,35	30,07	49,025	69,43
Kubikcentimetern	0,526	1,266	0,9903	2,840
Grammen	0,4167	1,0026	0,7843	2,249

*) Die genauen Gay Lussac'schen Zahlen sind 1696 und 659.

und Wasser, ausgedrückt in Kubikcentimetern oder Grammen,

3,734 2,944 1,0297 1,250.

Nach Abzug der in Dampf übergegangenen Alkohol- und Wassermenge beträgt hiernach, in Grammen ausgedrückt, die Menge des zurückgebliebenen Alkohols und Wassers bei jedesmaligem kleinen, mittleren und grossen Dampfvolumen:

	I.	II.	III.	IV.
Alkohol	0,4117	—	0,7703	2,236
Wasser	3,730	—	1,0277	1,249
Zusammen	4,1417	—	1,7980	3,485.

	I.	II.	III.	IV.
Alkohol	0,4107	0,9906	0,7683	2,233
Wasser	3,729	2,941	1,0277	1,249
Zusammen	4,1397	3,9316	1,7960	3,482

	I.	II.	III.	IV.
Alkohol	0,4027	0,9776	0,7513	2,212
Wasser	3,7225	2,937	1,0247	1,2475
Zusammen	4,1252	3,9146	1,7760	3,4595.

31) Aus dieser Zusammenstellung berechnen sich die folgenden Gewichtsprocente Alkohol der im Apparate nach der theilweisen Verdunstung zurückgebliebenen Flüssigkeiten, neben welche wir die jedesmalige Spannkraft der darüber befindlichen Dämpfe gestellt haben.

	Gewichts-Procente.	Spannkraft.
	Mischung I.	
	9,94	1002
	9,92	1000
	9,76	983
Mittel	9,87	995.
	Mischung II.	
	25,20	1833
	24,97	1821
Mittel	25,08	1827
	Mischung III.	
	42,84	2298
	42,78	2291
	42,30	2285
Mittel	42,64	2293.*)

*) Wenn wir den jedesmaligen Procentsatz durch x, die entsprechende Spann-

Mischung IV.

	64,16	2713
	64,13	2713
	63,94	2709
Mittel	64,08	2712

32) Die Spannkräfte der Dampfgemische sind in unseren willkürlichen Scalentheilen durch die Höhen von Quecksilbersäulen, welche eine Temperatur von 23° bis 25° C. hatten, ausgedrückt. Reduciren wir die Temperatur in gleicher Weise, wie wir es im vorigen Paragraphen für absoluten Alkohol gethan haben, auf 0°, so ergiebt sich für die Mittel aus unseren vier Beobachtungen eine Correction von bezüglich[2])

3,66 [4,34] 6,71 [7,96] 8,44 [9,99] 9,97 [11,81]

Scalentheilen, die von den obigen Quecksilberständen abgezogen werden

---

kraft durch y bezeichnen, so geben die beiden Grenzbeobachtungen unserer vier Beobachtungsreihen die Differenzen

	I.	II.	III.	IV.
$\Delta x =$	0,18	0,23	0,54	0,22
$\Delta y =$	19	12	13	4.

Wenn wir andererseits in denjenigen Punkten der Curve I., welche die vier Mittel unserer Beobachtungen darstellen (vgl. die folgende Nummer), die Tangenten an die Curve legen, so finden wir aus der graphischen Construction, den obigen Differenzen Δx entsprechend:

$\Delta y =$ 14 7 12 4.

Eine grössere Uebereinstimmung war nicht zu erwarten; sie würde vollständig werden, wenn wir in den beiden ersten Beobachtungen, wo die Abweichung allein vorhanden ist, in einer der äussersten Beobachtungen einen Fehler von 1,5 mm bei der Ablesung des Quecksilberstandes annehmen.

Die Beobachtungen der 3. Reihe bieten allein eine kleine Abweichung dar, deren Grund wir darin erkennen, dass die mittlere Beobachtung eine zu kleine Spannkraft giebt. Die Interpolation giebt 5½ Scalentheile mehr. Wir haben daher bei der Bestimmung des arithmetischen Mittels diese Interpolation zuvor gemacht, oder, was dasselbe heisst, die mittlere Beobachtung dabei unberücksichtigt gelassen.

In der eben erwähnten Uebereinstimmung finden wir unsere frühere Behauptung begründet, dass die geringere Spannkraft der Dämpfe bei grösserem Dampfvolumen in den beiden ersten Beobachtungen sehr nahe, in den beiden letzten vollständig aus dem geringeren Alkoholgehalte der übrig bleibenden Flüssigkeit sich erklären lasse. Insbesondere folgt daraus, dass wirklich keine Luft in den Mischungen zurückgeblieben und beim Kochen aus denselben entwichen ist, oder höchstens nur ein Minimum in den beiden ersten Beobachtungen.

müssen. Wenn wir hiernach durch 3,42 dividiren, so erhalten wir für die reducirten Quecksilberstände, in Millimetern ausgedrückt:

289,9 mm	532,25 mm	668,0 mm	790,1 mm.
[289,7]	[531,9]	[667,5]	[789,5]

Wenn wir hierzu noch die Spannkraft des Wasserdampfes bei derselben Temperatur, nämlich

754,6 mm

addiren, so erhalten wir als endliches Resultat unserer Beobachtungen die nachstehende Tafel. Sie giebt die Spannkraft von Gemengen von Alkohol- und Wasserdämpfen, welche bei der Temperatur von

99,80° C.

mit einer Mischung von Alkohol und Wasser von den nebenstehenden Gewichtsprocenten Alkohol in Berührung sich befinden.

Procentgehalt	Spannung in Quecksilberdruck
0,00	754,6 mm
9,87	1044,5 mm [1044,3]
25,08	1286,8 mm [1286,5]
42,64	1422,6 mm [1422,1]
64,08	1544,7 mm [1544,1]
100,00	1679,6 mm [1678,9]

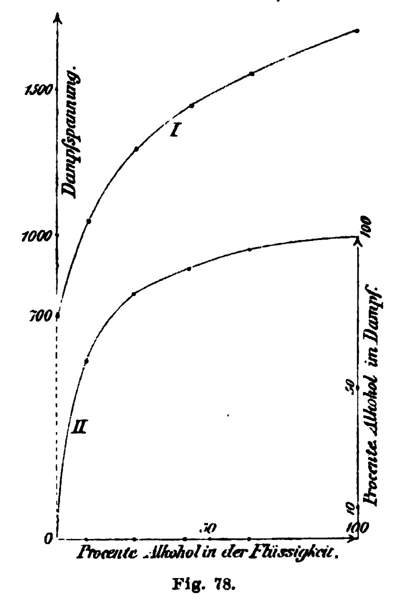


Fig. 78.

Die Curve I (Fig. 78) *stellt das Gesetz dar, wie die Spannkraft von dem Procentgehalt der Flüssigkeit abhängig ist.* Die Einheit der Ordinaten ist ein Centimeter [Quecksilberdruck], die Einheit der Abscissen ein einzelnes Alkoholprocent.

Der Alkoholgehalt in den Dämpfen ist grösser als in der Flüssigkeit. Wenn wir die vorläufigen Rechnungen der 30. Nummer nun mit den corrigirten Zahlen wiederholen, so finden wir aus den gegebenen Spannkräften die in der nachstehenden Tabelle zusammengestellten Zahlenwerthe für den Alkoholgehalt der Dämpfe.

	Volumenprocente Alkohol	Volumenprocente Wasser	In 100 cc ist Alkohol	In 100 cc ist Wasser	Gewichtsproc. Alkohol
I.	31,44	68,56	56,14 mgr	40,33 mgr	58,19
II.	57,77	42,23	103,2 „	24,8 „	80,62
III.	72,45	27,55	129,3 „	16,2 „	88,87
IV.	85,67	14,33	152,9 „	8,4 „	94,79.

Die Curve II. stellt die Gewichtsprocente Alkohol im Dampfe als Function der Gewichtsprocente Alkohol in der Flüssigkeit, mit welcher der Dampf bei 99,8° C. in Berührung ist, dar.

(Fortsetzung folgt, der auch die erwähnten Curven beigefügt sein werden.)*)

*) [Die angekündigte Fortsetzung ist nicht erschienen; die Curven sind daher erst vom Herausgeber hinzugefügt worden.]

50.

Ueber diahelische Curven und Parahelien im Doppelspath.[1])

(Sitzungsberichte der niederrheinischen Gesellschaft für Natur- und Heilkunde in Bonn. 1865. S. 10—12 und 100—102. Auch übersetzt in Les Mondes VII, p. 607—609 und IX, p. 234—237.)

Durch die ganze Länge gewisser Doppelspathe ziehen sich parallel mit einer Kantenrichtung zahllose Kanäle, die das Auge nur in seltenen Fällen deutlich wahrzunehmen im Stande ist, und die meistens sich als eine schwache Trübung, die der Durchsichtigkeit kaum Abbruch thut, kund geben. Wenn man durch solche Krystalle nach einer Kerzenflamme hindurchsieht, so sieht man zwei scharfe Curven (Ovale), die beide durch das Bild der Kerze gehen und bei der geringsten Drehung des Krystalls Form, Dimension und gegenseitige Lage ändern. Bei einer bestimmten Lage des Krystalls geht jede dieser Curven in einen diffusen Punkt über.

Sehr schön ist die Erscheinung, wenn man nach dem Monde hindurchsieht, in welchem Falle die Ovale in Ringe von der Breite des scheinbaren Monddurchmessers übergehen. Blendend wird die Erscheinung, wenn wir uns des Sonnenlichtes oder des elektrischen Lichtes bedienen, und hier können wir die Erscheinung auch objectiv darstellen, indem wir Ovale von mehreren Metern Durchmesser auf eine Wand werfen. Jede der beiden diahelischen Curven geht durch eines der beiden nahe zusammenfallenden Bilder und ist wie dieses polarisirt. Dadurch ist eine Reihe glanzvoller Abänderungen der fraglichen Erscheinungen angezeigt. Der Grund dieser Erscheinungen ist ein ähnlicher, wie beim Regenbogen und den Kreisen, welche die Sonne umziehen oder durch dieselbe gehen. Wie es fallende Wassertropfen und schwebende rotirende Eiskrystalle sind, welche diese Meteore bedingen, so sind es in unserem Falle die feinen Kanäle, welche das Licht im Innern des Krystalls spiegeln, das vorher beim Eintritt in den Krystall ordentlich und ausserordentlich gebrochen und nachher beim Austritt

aus demselben wiederum gebrochen wird. Die Erscheinung der diahelischen Curven im Doppelspathe lässt sich vollständig der mathematischen Analyse unterwerfen und in jedem Falle bis in's kleinste Detail durch diese vorher bestimmen. Wir begnügen uns, hier die folgende geometrische Construction der diahelischen Curven für den Fall der ausserordentlichen Brechung anzuführen.

Strahlen, welche, von einem entfernten Punkte ausgehend, parallel auf den Krystall auffallen, bleiben auch nach der Brechung unter einander parallel. Man denke sich um einen Punkt eines der durchziehenden Kanäle als Mittelpunkt die ausserordentliche Wellenfläche (ein abgeplattetes Sphäroid von gegebener Axenrichtung und gegebenem Axenverhältniss) beschrieben. In dem Punkte, in welchem der durch den Mittelpunkt gehende ausserordentliche Strahl die Fläche zum zweiten Male schneidet, construire man die Tangentialebene. Der Durchschnitt dieser Ebene mit dem Kanale ist der Mittelpunkt eines der Fläche umschriebenen Kegels zweiter Ordnung, und durch die Berührungscurve geht ein zweiter Kegel, dessen Mittelpunkt mit dem Mittelpunkte der Wellenfläche zusammenfällt. Solche auffallende Strahlen, welche ausserordentlich gebrochen die Richtung der Seiten dieses Kegels annehmen, bestimmen, durch das Auge gelegt, die ausserordentliche diahelische Curve. In dem Falle der ordentlich gebrochenen Strahlen ist der Kegel zweiter Ordnung ein Rotationskegel, dessen Axe die Kanalrichtung ist. Auf jeder der beiden diahelischen Curven treten in grösster Schärfe zwei Nebenbilder, Parahelien, auf. Es sind dieselben im Innern des Krystalls durch Ebenen gespiegelte Bilder der Lichtquelle. In dem Falle, dass man nach einer brennenden Kerze hindurchsieht, erscheint die ganze Kerze gespiegelt, und dadurch überzeugt man sich bald, dass diese Ebenen — im Innern des Krystalls durch spiegelnde Kanäle gebildet — den Seitenflächen des Doppelspaths parallel sind. Die diahelischen Curven beweisen, dass die einer Kantenrichtung des Doppelspaths parallelen Kanäle cylindrische sind, die Parahelien, dass diese Kanäle nach der Grundform gruppirt sind.

Diese Kanäle gehören nicht einem besonderen Vorkommen des Kalkspathes an, und so selten sie auch in gleicher Vollkommenheit wie in dem vorgezeigten Prisma auftreten mögen, so ist ihr Auftreten doch keineswegs eine ungewöhnliche Erscheinung. Sie machen sich aber ihrer meistens viel grösseren Feinheit wegen nur bei grosser Politur der Krystallflächen und nur bei Anwendung von directem Sonnenlichte bemerklich. Von drei schön polirten Rhomboëdern, die bisher als vollkommen wasserhell galten, zeigten zwei die diahelischen

Curven. Als das oben erwähnte Prisma mit seiner Basis auf das Tischchen des Mikroskops gestellt wurde, und sonach die Richtung der Kanäle eine geneigte war, erschien jeder derselben, wenn die Einstellung auf seine obere Ausmündung erfolgte, als ein kleiner scharf gezeichneter Komet, dessen schwarzer Schweif seine Bildung der totalen Reflexion des von unten eintretenden Lichtes durch den Kanal verdankte, und dessen Kopf die Oeffnung desselben war. Für den Durchmesser dieser Oeffnung gab die Messung als Maximum $0{,}0006^{\mathrm{mm}}$. Die Grenze der Feinheit lässt sich nicht bestimmen. Gewiss aber ist in den polirten Rhomboëdern der Durchmesser der Kanäle ein viel geringerer, und hier begegnen wir Dimensionen, welche mit der Länge der Lichtwellen von derselben Ordnung sind. (Bei diesen Beobachtungen erfreute sich der Vortragende der freundlichen Unterstützung des Herrn Prof. Troschel.)

Wir erhalten den sichersten Aufschluss über die Natur der diahelischen Curven, wenn wir uns, bei Anwendung von Sonnenlicht, der Lupe bedienen. An der Stelle, wo die beiden diahelischen Ringe sich schneiden, sind beide achromatisch, das heisst, die Farbenzerstreuung, welche das Licht beim Eintritte in den Krystall erfährt, wird bei seinem Austritte aus demselben wieder aufgehoben. Wenn wir das Kalkspathprisma so gegen die Sonne halten, dass grössere diahelische Ringe sich bilden von nahe gleichem Durchmesser, die an einer von dem Sonnenbilde entfernten Stelle sich kreuzen, so können wir diese Stelle, ohne von dem directen Sonnenlichte geblendet zu werden, mit der Lupe beobachten. Dann erscheint in jedem spiegelnden Kanal das Bild der Sonne als eine feine glänzende Linie, deren Länge dem scheinbaren Durchmesser der Sonne entspricht. Aber diese Linie ist nicht weiss, sondern gefärbt. Die wechselnde Färbung hängt von der Weite der Kanäle ab und ist namentlich bei den feineren Kanälen sehr intensiv. An der Kreuzungsstelle sieht man in den wirksamen Kanälen die beiden Sonnenbilder (das ordentliche und das ausserordentliche) als zwei gegen einander geneigte und gleich gefärbte Lichtlinien. Dass die von den verschieden gefärbten einander nahestehenden Lichtlinien gebildeten Ringe an dieser Stelle weiss erscheinen, kann nur Folge ihres Totaleindrucks auf das Auge sein. In den polirten Kalkspath-Rhomboëdern sind die Ringe theilweise unterbrochen wegen mangelnder Kanäle, und einzelne kürzere Stellen erscheinen gefärbt, was Kanäle von gleichem Durchmesser anzeigt, die alle gleich gefärbte Sonnenbilder geben.

Dann berührte der Vortragende die Frage über die Natur der Kanäle selbst und ihre Entstehungsweise. Gewisse Kalkspathprismen,

die häufig vorkommen, zeigen eine unvollkommene Entwickelung der Kanäle. Diese erstrecken sich nur bis zu einer gewissen Tiefe in den Krystall hinein und liegen dann gewöhnlich nahezu in einer Ebene, die eine stumpfe Kante fortnimmt. Der bei ungestörter Krystallbildung lange, gleichmässig weite Kanal ist dann in unregelmässiger Weise in einzelne kürzere Kanäle von verschiedener Weite und Länge zerfallen, die oft auch die Form blosser Höhlungen annehmen. Nur die eine der Endflächen erreichenden Kanäle sind mit der äusseren Luft in Verbindung, alle übrigen in sich geschlossen. Unter dem Mikroskope erscheint jeder dieser geschlossenen Kanäle bis auf einen kleinen Raum mit einer Flüssigkeit angefüllt. Der kleine, mit der Flüssigkeit nicht angefüllte Raum hat das Ansehen eines kleinen Gasbläschens und lässt sich in dem Kanale von einer Stelle zur anderen bewegen. Nach einer oberflächlichen Schätzung steht seine Länge zu der ganzen Länge des Kanales in einem constanten Verhältnisse. Es ist nur eine mässige Temperaturerhöhung des Krystalls erforderlich, um das Bläschen zum Verschwinden zu bringen. Auf diese Weise ergiebt sich eine bestimmte Temperatur als Maximum derjenigen Temperatur, bei welcher die Bildung des Doppelspathes stattgefunden hat, und, wenn wir annehmen, dass der Kanal bei der Bildung ganz mit Flüssigkeit angefüllt war, diese Temperatur selbst. Messungen der Länge des Bläschens in einem geschlossenen längeren Kanale sind leicht unter dem Mikroskope ausführbar. So lässt sich denn auch auf diesem Wege mit Bestimmtheit entscheiden, ob, was kaum bezweifelt werden kann, die eingeschlossene Flüssigkeit Wasser ist. Bei einer gewissen Temperatur ist die Ausdehnung des Wassers der Ausdehnung des Kalkspaths gleich. Bei dieser Temperatur ist das Bläschen, das wahrscheinlich nur aus Wasserdampf und den Gasen in verdünntem Zustande besteht, welche von der Mutterlauge, aus welcher der Doppelspath sich abgeschieden hat, absorbirt waren, am grössten. Bei zunehmender Temperatur nehmen die Dimensionen des Bläschens bis zum Verschwinden ab. Aber das Gleiche muss auch bei abnehmender Temperatur stattfinden, wobei der Kanal sich stärker zusammenzieht als das darin befindliche Wasser, dessen Contraction bei 4^0 sogar in eine immer wachsende Dilation übergeht. Es steht hiernach fest, dass die Kanäle, welche durch die ganze Länge von Kalkspathprismen sich hinziehen und die schöne Erscheinung der diahelischen Ringe geben, ursprünglich mit Flüssigkeit gefüllt waren. Stücke mit unvollkommen ausgebildeten Kanälen geben diese Erscheinung unvollkommen. Merkwürdig ist es, dass die Kanäle immer nur nach einer einzigen der 3 Kantenrichtungen der Grundform sich hinziehen. Eine grosse wasserhelle Krystallmasse, die

noch ihre Begrenzung nach der Richtung der Kanäle hat, zeigt schön ausgebildete Endflächen, die auf dem durch diese Richtung gehenden Hauptschnitt senkrecht sind. Weitere Details müssen hier übergangen werden.

Der Vortragende verdankt die schönen Prismen, welche die diahelischen Ringe und Parahelien in grösster Vollkommenheit zeigen, dem Optiker Herrn Steeg in Bad Homburg, der auf sein Ansuchen zu deren Auswahl mehrere hundert Pfund Doppelspath durchmusterte, und mit dem er zuerst die Flüssigkeit in den Kanälen beobachtete. Derselbe lässt, so weit sein Vorrath reicht, solche vollkommen polirte Prismen käuflich ab.

Anmerkungen.

1. *Rapport entre les propriétés optiques et les propriétés magnétiques de certains cristaux.*

Diese Abhandlung ist ein kurzer Auszug aus Abh. 2; die in ihr zusammengestellten Resultate unterliegen also auch denselben Bedenken, wie jene der Abh. 2.

2. *Ueber die Abstossung der optischen Axen der Krystalle durch die Pole der Magnete.*

1) S. 6. Die hier von Plücker ausgesprochenen Folgerungen sind in mehrfacher Hinsicht unhaltbar und auch von ihm selbst später berichtigt worden: I. Es ist unklar und bei zweiaxigen Krystallen geradezu unrichtig, von einer Abstossung der optischen Axen, also blosser *Richtungen,* zu sprechen, eine Ausdrucksweise, die Plücker selbst später in Abh. 17, Nr. 9, S. 191 und in der Anmerkung zu Abh. 28, S. 408 gegenüber Angriffen von Tyndall zu rechtfertigen gesucht hat; überdies besteht keine constante Beziehung zwischen den optisch und magnetisch ausgezeichneten Richtungen. II. Es ist nicht richtig, dass bei allen einaxigen Krystallen eine *Abstossung* der optischen resp. magnetischen Axe stattfindet; dies hat zuerst Faraday erkannt und Plücker selbst alsbald bestätigt gefunden (Abh. 12). III. Zu der verkehrten Anschauung, dass die „magnetische Axenwirkung" und die gewöhnliche magnetische oder diamagnetische Kraft in verschiedenem Maasse mit der Entfernung abnehmen, ist Plücker durch Ausserachtlassung des Umstandes gelangt, dass die von der Form abhängige Einstellung der Körper in erster Linie von der Inhomogenität des Magnetfeldes bedingt wird, während die von der krystallinischen Structur abhängige Einstellung auch im homogenen Felde stattfindet; auch hierüber ist Plücker selbst später in's Klare gekommen (Abh. 23, S. 304—318 und Abh. 28).

2) S. 23. Die hier gezogene Folgerung über die Lage der optischen Axen ist in Folge der oben unter II. erwähnten irrthümlichen Voraussetzung falsch; es ist zwar die 1. Mittellinie wirklich parallel der Prismenaxe, aber die Ebene der optischen Axen halbirt nicht den stumpfen, sondern den spitzen Prismenwinkel.

3) S. 25. Es ist fraglich, ob „axial" und „äquatorial" nicht auch hier mit einander vertauscht sind; jedenfalls ist die Beschreibung dieses Versuches und die Erklärung durch eine „nicht polare Abstossung der Wismuthmasse" etwas unklar.

3. *Ueber das Verhältniss zwischen Magnetismus und Diamagnetismus.*

1) S. 29. Den hier ausgesprochenen Standpunkt hat Plücker sehr bald aufgegeben und sich der Ansicht Faradays von der Polarität der diamagnetisch erregten Körper angeschlossen; vgl. Abh. 6, S. 64—65.

2) S. 29, 31. Die am Schluss von Nr. 4 und in Nr. 6 ausgesprochene Folgerung aus den in Nr. 4 und 5 beschriebenen Versuchen ist unrichtig und auch bereits in der 6. Abh., S. 66—67, von Plücker verworfen. Die wahrscheinlichste Erklärung jener Beobachtungen, welche durch den Versuch von Nr. 7 der Abh. 6 nahegelegt wird und von Plücker selbst in der Abh. 7, S. 101—105, und in Abh. 11 gegeben wird, ist die, dass die untersuchten Körper an und für sich diamagnetisch waren, aber etwas Eisen beigemischt enthielten, welches in der Nähe der Magnetpole oder bei gesteigerter Feldstärke bald nahe zur Sättigung magnetisirt wurde und dann den Diamagnetismus nicht mehr compensirte. Dieser Ansicht ist auch W. Thomson (Annalen Bd. 82, S. 258—262).

3) S. 32, Anmerkung. Aus den oben angeführten Beobachtungen Faraday's ist wohl kaum ein solcher Schluss zu ziehen, da das Magnetfeld innerhalb des Glases durch die Versuchsanordnung fast homogen gemacht war. Uebrigens hat Plücker an der hier in Nr. 8 ausgesprochenen Vermuthung eines Zusammenhanges zwischen Krystallmagnetismus und elektromagnetischer Drehung der Polarisationsebene nicht festgehalten.

4. *Experimentaluntersuchungen über die Wirkung der Magnete auf gasförmige und tropfbare Flüssigkeiten.*

1) S. 35. Die in der Anmerkung erwähnten Untersuchungen Faraday's sind in demselben (73.) Bande der Annalen S. 256—286 veröffentlicht und umfassen in der That bereits fast alle Versuche Plücker's über den Magnetismus der Gase und Flüssigkeiten, zum Theil sogar in vollkommenerer Form.

2) S. 42. Die in Nr. 12 angewandte Schlussweise ist unzulässig und hat Plücker in der That zu dem falschen Resultate geführt, dass die Luft diamagnetisch sei. Dass die Luft thatsächlich *magnetisch* ist, hat er in einer späteren Untersuchung (Abh. 18) festgestellt.

3) S. 50. Die Auffassung von einer Abstossung der Luft durch die Magnetpole ist, selbst wenn die Luft statt magnetisch wirklich diamagnetisch wäre, nicht zutreffend. Allerdings würde dann die Luft in der Umgebung der Magnetpole wirklich eine Verdünnung erfahren, wie Plücker in Nr. 32 ausführt; aber diese Verdünnung ist nicht durch eine Abstossung der Luft schlechthin zu erklären, sondern dadurch, dass die diamagnetische Constante der Luft mit deren Dichtigkeit zunimmt. Man könnte sich denken, dass letzteres nicht der Fall sei, und dann würde die fragliche Verdünnung nicht eintreten, obgleich ein *isolirtes*, etwa in eine starre Hülle eingeschlossenes Luftvolum eine Abstossung erlitte.

4) S. 58. Die in der Anmerkung erwähnte Mittheilung von Zantedeschi ist ebenfalls in Bd. 73 der Annalen, S. 286, abgedruckt.

5) S. 61, Nr. 57. Bei diesem Versuch hätte, da die Luft magnetisch ist, nach dem unter 3) Gesagten eine *Contraction* auftreten müssen, jedoch von so geringem Betrage, dass sie wohl kaum wahrnehmbar gewesen wäre. Die in einem magnetischen Felde von der Intensität R stattfindende Contraction ist nämlich

$$-\frac{\delta v}{v} = \frac{\mu - 1}{8\pi}\frac{R^2}{p},$$

wenn μ die magnetische Permeabilität der Luft und p ihren Druck, hier also den Druck einer Atmosphäre = rund 10^6 Dynen, bezeichnet. Soweit sich aus Plücker's Beschreibung das Volum des von ihm benutzten Gefässes schätzen lässt, mochte dasselbe etwa $8 \cdot 10^4 mm^3$ betragen; um eine Volumänderung von $0{,}8 mm^3$, die einer Verschiebung des Alkoholtropfens in der Capillare um etwa 1^{mm} entsprochen hätte, zu bewirken, wäre danach eine Feldstärke von nahezu 100000 erforderlich gewesen, so dass die nach der Theorie wirklich eintretende Contraction selbst bei sehr viel vorsichtigerer Vermeidung von Störungen der Wahrnehmung entgangen sein würde. — Die von Plücker beobachtete scheinbare *Dilatation* kann durch eine Deformation des metallenen Gefässes, oder durch die diamagnetische Abstossung des absperrenden Alkoholtropfens verursacht worden sein; zu letzterer Erklärung ist Plücker selbst später durch sorgfältigere Wiederholung des Versuches gelangt (siehe seine Anmerkung auf S. 260 der 18. Abhandlung). — Auch Faraday hat ohne Erfolg versucht, durch eine der Plücker'schen ähnliche Methode die Volumänderung der Gase im Magnetfelde nachzuweisen. (Exper. Researches Ser. 25, § 2730. 1850.)

5. *Action calorifique d'un courant électrique.*

1) Der Titel dieser Notiz ist unglücklich gewählt; mindestens hätte er lauten müssen: action calorifique d'un *aimant*. Uebrigens glaubte Plücker selbst nicht an eine tiefer gehende Analogie zwischen der vermeintlichen diamagnetischen und der thermischen Ausdehnung der Luft. — Der Inhalt der Mittheilung ist im Wesentlichen identisch mit dem von Nr. 57 der vorhergehenden Abhandlung, so dass in Bezug auf ihn ebenfalls die Anm. 5 zu Abh. 4 gilt.

6. *Ueber ein einfaches Mittel, den Diamagnetismus schwingender Körper zu verstärken. Diamagnetische Polarität.*

1) S. 63. Der in Nr. 1 beschriebene Versuch erklärt sich am anschaulichsten durch die Erwägung, dass das magnetische Feld dicht über dem Eisenstab dadurch, dass die Kraftlinien in diesen hineingezogen werden, eine erhebliche Schwächung erfährt, und dass der Wismuthstab als diamagnetischer Körper diese relativ schwächste Stelle des Feldes einzunehmen strebt. Vergl. Faraday, Exper. Researches § 2691—92. Annalen, Bd. 82, S. 239—40.

7. *Ueber Intensitätsbestimmung der magnetischen und diamagnetischen Kräfte.*

1) Der Titel ist nicht treffend gewählt; denn es handelt sich nicht um die Messung der magnetischen Kräfte, sondern der Magnetisirungsfähigkeit verschiedener Substanzen.

2) S. 74. Plücker hat sich bei der Berechnung der Eisenmengen aus dem Gewicht des Gemenges geirrt, indem er die gesammte verriebene Eisenmenge durch 25 (Gewicht des Schmalzes) statt durch 25 + dem Gewicht des Eisens dividirt hat. Die im Text angegebenen Zahlen sind bereits corrigirt; im Original steht

	0,6848	0,3408	0,1624	0,0828	0,0406
statt	0,6445	0,3302	0,1600	0,0822	0,0405

und für die Anziehung von 1 gr Eisen:

	379,3	392,0	398,5	406,5	394,8,	im Mittel 394,2
statt	404	405	405	422	394,	„ „ 406;

ferner für die daraus berechneten Anziehungskräfte:

	269,95	134,34	64,02	32,64	16,00
statt	261,8	134,1	65,0	33,4	16,45.
Beobachtet:	259,95	133,6	64,73	34,65	15,95.

3) S. 79. Die grosse Abweichung, welche Plücker zwischen der beobachteten und berechneten Anziehung der ersten Mischung fand, verschwindet bei richtiger Berechnung, wie vorstehende Zahlen zeigen, und braucht somit nicht einer durch Selbstinduction der Eisenmasse bedingten Abweichung von der Proportionalität zwischen Gesammtanziehung und -Eisenmenge zugeschrieben zu werden.

4) S. 85. Hier und im Folgenden sind in allen Fällen, wo sich beim Nachrechnen Zahlen ergaben, die von denen des Originals erheblich differiren, die *letzteren* in Klammern ( ) beigefügt. Bei kleineren Abweichungen sind nur die neuberechneten Zahlen angegeben.

5) S. 100. Das Verhältniss $^3/_4$ für Schwefelblüthe und Kochsalz, sowie $^1/_2$ für Wismuthoxyd, trifft nach den Berichtigungen, die in Nr. 41 erforderlich waren, nicht mehr zu. Uebrigens besitzen die in Nr. 48 aufgestellten numerischen Beziehungen keine reelle Bedeutung.

6) S. 103. Diese Erklärung, über welche bereits in Anm. 2 zu Abh. 3 gesprochen ist, ist nur in den Fällen zweifellos, wo die Anziehung in Abstossung überging, wenn bei unveränderter Lage des angezogenen Körpers die Feldstärke geändert wurde (siehe unten). Dagegen sind die Versuche mit dem mit Phosphor oder Quecksilber gefüllten Uhrglas (Nr. 50 und 51) wahrscheinlicher durch den Verlauf der Kraftlinien in der Nähe der Pole zu erklären (vgl. W. Thomson, Pogg. Annalen, Bd. 82, S. 258—62), welcher zur Folge hat, dass ein nur mit schwach magnetischer Substanz gefülltes Uhrglas eine mit der Entfernung von den Polen bis zu einer gewissen Grenze *zunehmende* Anziehung erleidet und daher in einiger Entfernung von den Polen eine stabile Gleichgewichtslage annimmt. Bezüglich des Versuches der 52. Nummer hat Plücker selbst später (in Nr. 4 der 11. Abh., S. 132) bemerkt, dass die stabile Gleichgewichtslage lediglich eine Folge des mit dem Ausschlage der Waage sich vermindernden Drehungsmomentes der Schwere war. Später hat daher Plücker eine Versuchsanordnung gewählt, wobei dieser Fehler vermieden war, indem nämlich das mit Wismuth gefüllte Uhrglas an demselben Orte blieb, während die Feldstärke geändert wurde. (Abh. 11, Nr. 5.) Aus den vorstehend gegen die Zuverlässigkeit der Versuche von Nr. 50—52 angeführten Gründen wird auch die in Nr. 55 angestellte Berechnung hinfällig.

8. *On Diamagnetism.*

Dieser Brief enthält hauptsächlich Mittheilungen über einzelne Resultate der vorhergehenden Abhandlung.

9. *Ueber das Verhalten des abgekühlten Glases zwischen den Magnetpolen.*

Das S. 118 ausgesprochene Resultat darf natürlich nicht so verstanden werden, als ob sich ein schnell gekühlter Glascylinder wie ein *homogener* einaxiger Krystall verhielte; seine verschiedenen coaxialen Schichten befinden sich in ganz verschiedenen Deformationszuständen, und nur die *resultirende* magnetische Gesammtwirkung lässt den Cylinder als einaxigen Krystall erscheinen. — Zwei Jahre nach diesen Beobachtungen Plückers haben Knoblauch und Tyndall an verschie-

denen Substanzen nachgewiesen, dass durch Zusammendrückung nach einer Richtung sowohl die magnetische als die diamagnetische Induction nach dieser Richtung gesteigert wird.

12. *Ueber die neue Wirkung des Magneten auf einige Krystalle, die eine vorherrschende Spaltungsfläche besitzen. Einfluss des Magnetismus auf Krystallbildung.*

1) S. 138. Da die drei den in Nr. 4 erwähnten Streifensystemen entsprechenden Spaltungsrichtungen (nach den Flächen des Rhomboëders — $2R$ verlaufend) gleichwerthig sind, so muss die a. a. O. beschriebene Einstellung eines derselben wohl durch Zwillingsbildung oder eine andere Störung verursacht gewesen sein.

Zu Nr. 11—13. Die Resultate Plückers betreffs der Orientirung sich im Magnetfelde bildender Wismuthkrystalle sind angezweifelt worden, da Faraday bei dem analogen Versuche nur negative Ergebnisse erhielt (Exp. Researches Ser. 22, § 2502 ff., 1848).

13. *Ueber die magnetischen Beziehungen der positiven und negativen optischen Axen der Krystalle.*

1) Plücker befindet sich hier noch in dem Irrthum, eine besondere „optomagnetische" Wirkung der gewöhnlichen magnetischen gegenüberzustellen (siehe Anm. 1 zu Abh. 2). — Dass die am Cyanit beobachtete permanente magnetische Polarität mit seiner triklinen Krystallform in Beziehung stehe, ist anderweitig nicht bekannt geworden und einigermaassen unwahrscheinlich, wenn auch nicht geradezu unmöglich. Ausgeschlossen ist ein solcher Zusammenhang aber beim tetragonal-holoëdrischen *Zinnstein*, an welchem Plücker ebenfalls permanenten Magnetismus beobachtet hat (cf. Abh. 16, S. 183).

14. *Ueber den Einfluss der Umgebung eines Körpers auf die Anziehung oder Abstossung, die er durch einen Magnet erfährt.*

1) S. 147. Plücker hat hier von der Einwirkung des Magneten auf eine umgebende Flüssigkeit dieselbe incorrecte Anschauung, welche hinsichtlich der Wirkung auf Gase schon in Anm. 3 zu Abh. 4 erwähnt wurde, dass nämlich jedes Flüssigkeitstheilchen *innerhalb* einer homogenen, magnetischen, das Magnetfeld erfüllenden Flüssigkeit eine Anziehung erführe, während in Wirklichkeit nur auf die *Grenzflächen* der Flüssigkeit magnetische Drucke wirken. Es ist daher auch nicht richtig, von einer Vermehrung des hydrostatischen Druckes schlechtweg zu sprechen und demgemäss die auf einen eingetauchten Körper ausgeübte Wirkung zu bestimmen.

2) S. 147. Der in Nr. 3 ausgesprochene Satz, dessen Ableitung dem vorstehend erörterten Bedenken unterliegt, besitzt nur eine beschränkte Gültigkeit, nämlich nur für Körper, welche so schwach magnetisch bezw. diamagnetisch sind, dass durch die Einführung des festen Körpers und die Verdrängung des entsprechenden Flüssigkeitsvolums das Magnetfeld nicht merklich geändert wird.

3) S. 148. Im zweiten Absatz von Nr. 5 sind offenbar die beiden Fälle ver-

wechselt; in einer magnetischen Flüssigkeit würde die Kugel sich nach der Mitte hin bewegen und dort im labilen Gleichgewichte sein, in einer diamagnetischen Flüssigkeit würde sie sich nach einem der beiden Pole hin bewegen.

4) S. 149. Es gilt hier dasselbe, was in Anm. 1 und 2 über den Fall eines in eine *Flüssigkeit* eingetauchten festen Körpers gesagt ist. Die Dichtigkeitsänderung, welche das umgebende Gas thatsächlich erfährt (siehe Anm. 3 zu Abh. 4), ist ohne Einfluss auf die magnetische Kraft, die der Körper erleidet.

Noch ist zu bemerken, dass es nach der Plücker'schen Ausdrucksweise erscheinen kann, als ob die Schwere hierbei in Betracht käme, während natürlich die magnetische Anziehung oder diamagnetische Abstossung dieselbe ist, wenn sich der Körper in analoger Lage *unterhalb* der Pole befindet.

5) S. 150. Die Polemik Plücker's gegen Becquerel ist unbegründet; die Auffassung des letzteren vom Diamagnetismus enthält keine Widersprüche und nähert sich sehr derjenigen Faradays und Maxwells.

15. *Enumeratio novorum phaenomenorum recentissime in doctrina de magnetismo inventorum.*

Diese Universitätsschrift enthält eine Zusammenstellung der in den früheren Abhandlungen niedergelegten Resultate ohne irgendwie wesentliche neue Zusätze.

17. *Ueber die magnetischen Axen der Krystalle und ihre Beziehung zur Krystallform und zu den optischen Axen.*

1) S. 187. Die in Nr. 8 ausgesprochene Ansicht, dass die magnetische Erregung deshalb langsamer mit der Feldstärke abnehme, als die diamagnetische, weil die diamagnetischen Substanzen eine grössere *Coërcitivkraft* besässen, ist nicht richtig; es beruht diese Erscheinung offenbar auf verschiedenem Verlauf der Magnetisirungs- bezw. Diamagnetisirungsfunction, der von der etwa gleichzeitig vorhandenen Coërcitivkraft ganz unabhängig ist. (Vgl. Anm. 2 zu Abh. 23 und Abh. 26.) Der Irrthum Plücker's ist zuerst von J. Müller, Pogg. Annalen Bd. 83, S. 115, berichtigt worden, und später hat auch Plücker selbst die richtige Erklärung gegeben (Abh. 24, Nr. 4, 5 und 73).

2) Zu Nr. 7. Es war gewiss nicht berechtigt, aus den stark differirenden Anziehungen senkrecht zu den Flächen C, D, E, F das Mittel zu nehmen, wie es S. 141 oben geschehen ist; denn bei dem durch die Versuchsanordnung bedingten Kraftlinienverlauf hing die Anziehung nicht nur davon ab, welche krystallographische Richtung vertical war, sondern auch davon, ob die magnetische Axe äquatorial oder axial lag, und deren Lage dürfte schwerlich bei allen Versuchen, wo die Flächen C, D, E oder F horizontal waren, gleich gewesen sein. — Uebrigens können die Unterschiede der Anziehung nach verschiedenen Richtungen *relativ* sehr klein sein und dennoch eine sehr entschiedene Einstellung des in einem *homogenen* Felde drehbar aufgehängten Krystalles herbeiführen. Dies meint wohl Plücker in Nr. 15; klar ausgesprochen hat er es erst in der Anmerkung zu Nr. 9 der 23. Abh., S. 305. Später hat Tyndall die in Rede stehenden Versuche mit Eisenvitriol in genauerer Weise (unter Benutzung nur *eines* Poles) wiederholt und merkliche Unterschiede der Anziehung — im Verhältniss 6 : 7 etwa — gefunden; vgl. Pogg. Annalen Bd. 83, S. 402.

3) S. 193. Die Anschauungsweise in Nr. 12, dass in Krystallen eine magne-

tische oder diamagnetische Polarisation nach einer oder zwei festen Richtungen — den magnetischen Axen — stattfinde, ist noch incorrect; sie ist die weitere Ausbildung der ursprünglichen Anschauung Plücker's von der „Anziehung bestimmter Richtungen." Das Modell einer Turmalinsäule, welches in Nr. 14 beschrieben ist, entspricht übrigens dieser Anschauung nicht; es müsste dazu aus einem schwach magnetischen Stab mit *parallel* zur Axe eingelagerten *diamagnetischen* (etwa Wismuth-)Stäbchen gebildet sein.

4) S. 209. Diese Definition magnetisch positiver und negativer Krystalle ist verschieden von derjenigen, welche Plücker später (Abh. 28, S. 454) gegeben hat, und welche seitdem allgemein angenommen ist. Nach letzterer werden als positiv diejenigen einaxigen Krystalle bezeichnet, welche nach der Richtung der Axe die stärkste magnetische oder diamagnetische Erregbarkeit besitzen, und deren Axe also angezogen wird, wenn die Masse magnetisch ist, abgestossen, wenn letztere diamagnetisch ist; die sich entgegengesetzt verhaltenden Krystalle heissen negativ.

5) S. 210. Die Entscheidung, ob die „magnetischen Axen" angezogen oder abgestossen werden, wäre in der angegebenen Weise nur dann möglich, wenn die Lage der Halbirungslinie ihres spitzen Winkels im Krystall bereits bekannt wäre; anderenfalls giebt es jedes Mal zwei Möglichkeiten, zwischen denen sich nur durch quantitative Beobachtungen, etwa der Schwingungsdauer bei Aufhängung nach α, $\varkappa$, λ, entscheiden liesse. — Abgesehen hiervon, ist aber die Annahme der Anziehung bezw. Abstossung zweier „magnetischer Axen", an der Plücker hier noch festhält, nicht geeignet, das magnetische Verhalten zweiaxiger Krystalle durchweg zu erklären; damit diese Annahme zu gleichen Resultaten führte wie die in Abh. 28 dargelegte richtige Theorie, dürften die magnetischen Momente der „magnetischen Axen" nicht als constant betrachtet werden, wie es bei Plücker stillschweigend geschieht.

Dieser irrthümlichen Auffassung der „magnetischen Axen" (auch diese Bezeichnung hat später eine ganz andere Bedeutung erhalten) entsprechend sind die Entwicklungen Plücker's in II. A, soweit sie zweiaxige Krystalle betreffen, unrichtig; insbesondere müsste unter Voraussetzung der richtigen Definition der magnetischen Axen als Axen der magnetischen Isotropie (cf. Abh. 27, S. 402) die Tabelle S. 208, welche zur Bestimmung ihrer Ebene aus der in der ersten Tabelle S. 207 angegebenen Einstellung des Krystalls dient, lauten:

	Diamagnetische Krystalle		Magnetische Krystalle	
	Mittellinie	Axenebene	Mittellinie	Axenebene
1.	α	$\alpha\lambda$	λ	$\alpha\lambda$
2.	α	$\alpha\varkappa$	$\varkappa$	$\alpha\varkappa$
3.	$\varkappa$	$\varkappa\lambda$	λ	$\varkappa\lambda$
4.	$\varkappa$	$\alpha\varkappa$	α	$\alpha\varkappa$
5.	λ	$\varkappa\lambda$	$\varkappa$	$\varkappa\lambda$
6.	λ	$\alpha\lambda$	α	$\alpha\lambda$

Eine Zweideutigkeit in der Bestimmung der Axenebene besteht dann also nicht.

Auch die Angaben über die Lage der magnetischen Axen für die einzelnen untersuchten Substanzen sind demgemäss vielfach falsch; dieselben sind aber hier

nicht berichtigt worden, weil dies durch Plücker selbst später in Abh. 28 geschehen ist, auf welche hier verwiesen werden mag.

6) S. 213. Nach der Schlussweise Plücker's müsste es consequenter Weise hier heissen: zu der Basis der Säule *senkrecht;* thatsächlich sind aber die richtig definirten magnetischen Axen zur Basis parallel.

7) S. 219—20. Auch hier ist die von Plücker angegebene Lage der magnetischen Axen thatsächlich richtig, während sie nach seiner Auffassung sich aus den Versuchen über die Einstellung und Schwingungszahl anders ergeben würde. Die S. 220 erwähnte Uebereinstimmung mit der Lage der magnetischen Axen beim Aragonit findet thatsächlich nicht statt. Die richtigen Verhältnisse sind in Abh. 28 dargelegt; dort ist übrigens das Kaliumeisencyanid als *rhombisch* krystallisirend aufgeführt, während es nach neueren Untersuchungen von Marignac und Des Cloizeaux monoklin ist, jedoch mit grosser Annäherung an das rhombische System sowohl in geometrischer als in optischer Hinsicht.

8) Zur Anm. auf S. 227. Dass die Durchmesser der Interferenzringe sich umgekehrt wie die *Quadratwurzeln* aus den Plattendicken verhalten, trifft nur bei sehr kleinem Axenwinkel annähernd zu; anderenfalls ändern sich die Durchmesser der Ringe, welche jede einzelne Axe umgeben, nahezu im umgekehrten Verhältniss der Plattendicke selbst.

9) S. 242. Die Schwierigkeit, auf welche Plücker bei der Erklärung des magnetischen Verhaltens des Kaliumbichromats stiess, ist wohl lediglich durch die mehrerwähnte falsche Auffassung der „magnetischen Axen" verursacht; zur Bestimmung der Lage der wahren magnetischen Axen reichten die Beobachtungen nicht aus (cf. S. 452 oben). Einen Zusammenhang des besonderen magnetischen Verhaltens dieser Substanz mit dem optischen anzunehmen, liegt gar kein Grund vor.

18. *Ueber das magnetische Verhalten der Gase. I.*

1) Zu Nr. 20. Auch hier geht Plücker noch von der in Anm. 3 zu Abh. 4 erwähnten irrigen Ansicht aus, dass jedes Gasvolum im Innern einer das Magnetfeld erfüllenden magnetischen Gasmasse eine Anziehung erfahre. Die Berechnung der Contraction eines Sauerstoffwürfels ist aber auch unter der von Plücker gemachten Voraussetzung nicht richtig; die Contraction würde nämlich nicht dem ganzen, sondern dem halben Gewichte desselben entsprechen.

2) S. 260 zu Nr. 21. Nach diesem Versuchsergebnisse ist es unwahrscheinlich, dass die Diffusion zur Erklärung der in Nr. 15—18 constatirten Abweichungen der beobachteten Anziehung von der aus dem Mischungsverhältniss berechneten ausreicht, wie Plücker in Nr. 19 meint; auch hätten in diesem Falle jene Abweichungen mit der Zeit der Einwirkung des Magneten zunehmen müssen, was offenbar nicht der Fall war. Andere Beobachter haben auch die fraglichen Abweichungen nicht gefunden.

19. *Numerische Vergleichung des Magnetismus des Sauerstoffgases und des Magnetismus des Eisens.*

Die numerische Bestimmung des Magnetismus des Sauerstoffgases durch Plücker gestattet keine sichere Vergleichung mit derjenigen durch andere Beobachter, da er als Vergleichskörper eine Eisenchloridlösung von unbekannter Zusammensetzung und fein zertheiltes Eisen (dessen Magnetisirungsconstante nicht

nur von der Qualität, sondern auch von der Form der Theilchen abhängt, wovon man sich für den Fall ellipsoïdischer Theilchen leicht überzeugt), gewählt hat.

20. *Ueber die magnetische Polarität und die Coërcitivkraft der Gase.*

1) S. 274. Trotz dieses angeblich so zweifellosen Versuchsergebnisses ist das Vorhandensein von Coërcitivkraft bei einem Gase so unwahrscheinlich, dass man die darauf hinweisenden, von Plücker beobachteten Erscheinungen wohl irgend welchen, von der Glashülle herrührenden Störungen zuschreiben muss. (Die nächstliegende Erklärung wäre eine Coërcitivkraft der Glashülle, doch will sich Plücker von dem Fehlen einer solchen besonders überzeugt haben: cf. S. 275. G. Wiedemann (Elektricität Bd 3, § 999) hält auf der Glaswand verlaufende inducirte Ströme für eine mögliche Erklärung.)

21. *Ueber das magnetische Verhalten der Gase. II.*

1) S. 278. Die in Klammern ( ) gesetzten Zahlen sind diejenigen Zahlen des Originals, welche sich beim Nachrechnen in erheblichem Maasse unrichtig erwiesen; bei geringeren Abweichungen sind nur die corrigirten Zahlen angegeben.

2) S. 281 u. 286. Die Contraction von 4 Vol. $NO + 1$ Vol. O_2 auf beinahe 3 Vol. zeigt, dass sich nicht N_2O_3 (welche nur 2 Vol. eingenommen hätte), sondern vorwiegend ein Gemisch $N_2O_4 + 2\,NO$ gebildet hatte. Mit dieser Annahme stimmen auch die Gewichtsbestimmungen in Nr. 11 und 21 überein.

3) S. 289. Das zu Anfang von Nr. 22 gewonnene Resultat steht im Einklang mit der in Anm. 2 begründeten Vermuthung, dass die N_2O_3 stets fast ganz in N_2O_4 und NO dissociirt gewesen ist. In der Gleichung auf S. 289 oben heisst bei Plücker die linke Seite fälschlich 1 Vol. N_2O_3, was aber auf den folgenden Schluss keinen Einfluss hat.

4) S. 290. Das Gewicht 1282 zeigt, dass die Untersalpetersäure hier dissociirt war; daher sind auch die in Nr. 25 über deren Magnetismus gezogenen Schlüsse unsicher.

22. *Sur le magnétisme des gaz.*

Enthält eine Aufzählung der wichtigsten Resultate der Abhandlungen 18—21.

23. *Ueber die Theorie des Diamagnetismus, die Erklärung des Ueberganges magnetischen Verhaltens in diamagnetisches und mathematische Begründung der bei Krystallen beobachteten Erscheinungen.*

Im ersten Theile der Abhandlung wird eine im Wesentlichen richtige Auffassung der diamagnetischen Induction dargelegt. Der zweite Theil enthält keine vollständige Theorie des Krystallmagnetismus, sondern nur eine mathematisch durchgeführte Erklärung der Einstellung einaxiger Krystalle im Magnetfelde durch ein ähnliches Modell, wie es schon in Nr. 14 der 17. Abhandlung erwähnt ist.

1) S. 299 u. 302. Der in Nr. 16 beschriebene Versuch, welcher eine geringe Coërcitivkraft des diamagnetischen Wismuths zu beweisen scheint, ist in Folge der mechanischen Versuchsanordnung und wegen der Möglichkeit der Mitwirkung inducirter (Foucault'scher) Ströme nicht einwandsfrei (vgl. Wiedemann, Elektricität, Bd. 3, § 960) und hat anderweitig keine Bestätigung gefunden.

2) S. 301. In Nr. 26—28 zeigt sich deutlich die schon in Anm. 1 zu Abh. 17 besprochene irrige Ansicht Plücker's, dass die eigentliche Coërcitivkraft, d. h. das

Zurückbleiben eines Restes der magnetischen oder diamagnetischen Polarisation nach Aufhören der magnetisirenden Kraft, verbunden sei mit einem weniger gekrümmten Verlauf der Magnetisirungscurve, oder wie Plücker sagt, mit grösserem *Widerstand* gegen die Magnetisirung, worunter er, einer späteren Erläuterung gemäss (Anm. S. 289—90), an dieser Stelle, im Gegensatz zur Bedeutung dieses Wortes in Abh. 24, eine Art von *statischer* innerer Reibung versteht, die erst überwunden werden muss, bevor überhaupt inducirter Magnetismus auftritt.

3) S. 308. Die Grösse μ als constanten Factor, nämlich als die Anziehung für die Einheit der Entfernung, einzuführen, wäre berechtigt für ein permanentes Magnetstäbchen. In dem hier betrachteten Fall eines weichen Eisenstäbchens müsste hingegen μ selbst als von der Entfernung und Lage desselben abhängig behandelt werden, nämlich als proportional der nach der Längsrichtung des Stäbchens genommenen Componente der magnetischen Kraft. Ist die Länge des Stäbchens klein gegen diejenige des Hebels, an dem es befestigt ist, und gegen die Entfernung der Magnetpole, wie Plücker später voraussetzt, so hätte man danach zu setzen

$$\mu = \frac{M}{d^2} \cdot \frac{c \sin \varphi}{d},$$

wo d die Entfernung der Stabmitte vom Pole P oder annähernd die von Plücker S. 310, Formel (5), mit m bezeichnete Grösse, und M eine constante, bezw. der Magnetisirungsfunction des Eisens proportionale Grösse ist, welche für den anderen Pol mit negativem Vorzeichen zu nehmen ist. — Durch die vorstehende Berichtigung des μ werden übrigens die folgenden Betrachtungen Plücker's bis Nr. 21 einschliesslich nur insofern beeinflusst, dass zu der von Plücker construirten „Curve der indifferenten Punkte“ noch die die beiden Pole verbindende Gerade $\varphi = 0$ hinzukommt.

4) Zur Anmerkung S. 309. Es müsste genauer heissen: die Kraft in der Einheit der Entfernung. Die Beschränkung, welche Plücker bei der Anwendung der Formeln von Nr. 16 auf das Magnetfeld der Erde für nothwendig hält, fällt weg, wenn man unter $\mu\left(\frac{1}{c^2} + \frac{1}{c'^2}\right)$ die Horizontalintensität an dem betrachteten Orte (bezw. eine derselben proportionale Grösse) versteht.

5) S. 310. Die Formeln verlieren in diesem Falle ihre Gültigkeit nicht, wenn nur statt des constanten μ der in Anm. 3) angegebene Ausdruck gesetzt und φ consequent in einem bestimmten Sinne weiter gerechnet wird, auch über 180° hinaus.

6) S. 314. Bei dieser Differentiation nach r müsste μ nicht als Constante, sondern als Function von r behandelt werden (siehe Anm. 3), wodurch die Curvengleichung (13) geändert werden würde; dies hat übrigens Plücker selbst nachträglich in Nr. 26 bemerkt.

7) S. 315. Bei der Summirung über die einzelnen Stäbchen müsste, da letztere doch wohl gleich lang vorausgesetzt sind, nicht α, sondern $\alpha \cdot r$ constant gesetzt werden, und demgemäss α nicht als Factor vor dem Integral, sondern unter dem letzteren stehen.

8) S. 316. Hier hat Plücker den in Anm. 3 erörterten Fehler seiner vorhergehenden Entwicklungen selbst erkannt, aber nur theilweise berichtigt, insofern noch der Factor $\frac{c \sin \varphi}{m}$ fehlt, welcher ausdrückt, dass nur die nach der Richtung des Stäbchens genommene Componente der magnetischen Kraft inducirend wirkt.

24. *Ueber das Gesetz der Induction bei paramagnetischen und diamagnetischen Substanzen.*

1) Zu 6, 7, 9 und 12. Dass die Anziehung, welche ein magnetisirbarer Körper seitens eines Magnetpoles M erfährt, dem Quadrate der Stärke des letzteren proportional ist, gilt nur in dem Falle, wo bei ungeänderter Entfernung und Lage des angezogenen Körpers die Polstärke allein geändert wird.

Als Function der Entfernung des angezogenen Körpers vom inducirenden Pole betrachtet, ist aber die Anziehung keineswegs dem Quadrate der Feldstärke proportional, sondern folgt einem weit complicirteren Gesetze, welches ganz von der *Gestalt* des angezogenen Körpers abhängt; nur in dem Falle eines *sehr kleinen* Körpers ist allgemein angebbar, dass die vom Magnetpol M ausgehende Anziehung proportional mit $\frac{M^2}{r^5}$ $\left(\text{nicht mit } \frac{M^2}{r^4}\right)$ ist, wobei aber der Proportionalitätsfactor noch von Gestalt und Orientirung jenes Massentheilchens abhängt. Dies gilt aber nur für ein isolirtes Massentheilchen und ist nicht auf die Theilchen eines endlichen Körpers übertragbar, da diese gegenseitig influencirend aufeinander wirken, was Plücker in Nr. 12 übersehen hat (woselbst übrigens auch unklar ist, was unter dem „in einem gegebenen Körper hervorgerufenen Magnetismus" zu verstehen ist).

2) S. 331. Der Ausdruck (3), welcher durch Multiplication der „Intensität des inducirten Magnetismus" (also doch wohl des inducirten magnetischen Momentes) mit der Stärke der inducirenden Kraft M und einem Factor $\varkappa$ erhalten ist, kann die *Anziehung* nur für ein *isolirt* gedachtes magnetisches Massentheilchen darstellen und dies auch nur dann, wenn der Factor $\varkappa$ von der Gestalt des Massentheilchens und von dem Kraftlinienverlauf in demselben abhängt; denn beispielsweise muss die Anziehung verschwinden, also $\varkappa = 0$ sein, wenn das Magnetfeld homogen ist.

3) S. 334. Durch diese Verfügung, welche die Relation $\frac{1}{c} = \text{tang}\,\frac{1}{k}$ zur Folge hat, wird für jede Substanz eine besondere Einheit der Anziehung eingeführt, was Plücker erst an einer späteren Stelle ausdrücklich hervorhebt (Nr. 53, S. 350).

4) S. 335. Die Einführung des Factors σ ist dadurch nothwendig geworden, dass nach Gleichung (18) die Intensität des inducirten Magnetismus, ebenso wie die Anziehung (siehe Anm. 3), für jede Substanz in einer anderen Einheit gemessen ist; σ bedeutet das Verhältniss dieser Einheiten für die beiden verglichenen Substanzen.

5) S. 338, 357, 360. Beim Nachrechnen der Plücker'schen Zahlen für die Anziehungen und ihre Verhältnisse, die inducirten Magnetismen und specifischen Magnetismen fanden sich zahlreiche, meist unerhebliche Fehler, welche übrigens ohne wesentliche Bedeutung für die Resultate sind. Die geänderten Zahlen sind mit * bezeichnet; im Falle grösserer Fehler sind die Plücker'schen Zahlen in Klammern hinzugefügt.

6) S. 355. Die Wahl dieses Punktes, in welchem S und M noch bis auf $\frac{1}{30}$ gleich sind, ist offenbar ungünstig für die Bestimmung von $\frac{1}{k}$, und man könnte wohl dadurch, dass man von dem nächsten Punkt ($S = 4$) ausginge, eine grössere Uebereinstimmung zwischen den berechneten Werthen M und den Ordinaten der empirischen Curve XII erhalten. Uebrigens ist eine gute Uebereinstimmuug von

vornherein nicht zu erwarten und hätte jedenfalls auch geringe Bedeutung, da sowohl die Curve XII in ziemlich willkürlicher Weise construirt, als die arc tang-Formel für M ohne tiefere Begründung angenommen ist.

7) Anm. S. 365. Zu der selbstverständlich falschen Gleichung $J = K \operatorname{tg} D$ wurde Lallemand zunächst durch Versuche geführt, bei denen die Intensität des Primärstroms durch Einschalten verschieden langer Drähte geändert wurde, und die wegen der hiermit verbundenen Aenderung des Inductionscoëfficienten leicht zu falschen Resultaten führen konnten. An einer späteren Stelle derselben Abhandlung (Krönig's Journal, Bd. 3, S. 153) bemerkt Lallemand aber ganz richtig, „dass bei allen Graden der Induction zwischen den Intensitäten des inducirenden und inducirten Stromes ein constantes Verhältniss stattfindet, sobald nur die Schliessungen ungeändert bleiben.“ Dieses Resultat hat Lallemand durch spätere Versuche genauer bestätigt (Annales de chimie et de physique, (4), II., p. 444, 1864) und dabei auch die von Plücker aufgeworfene Frage nach dem Einfluss der Natur des inducirten Drahtes experimentell entschieden. (Vgl. wegen dieser Versuche: Wiedemann, Elektricität, Bd. 4, S. 29.) — Die an die falsche Formel Lallemand's anknüpfenden Betrachtungen Plücker's über die Ampère'schen Ströme etc. in Nr. 8, S. 365, sind natürlich gegenstandslos.

25. *Commentatio de crystallorum et gazorum conditione magnetica.*

In dieser Universitätsschrift giebt Plücker eine Zusammenstellung der Resultate, zu welchen er in seinen früheren Abhandlungen über den Magnetismus der Krystalle und Gase gelangt war, ohne wesentlich Neues hinzuzufügen. In Bezug auf die Erklärung des Krystallmagnetismus steht er demgemäss noch auf demselben Standpunkte, wie in der 23. Abhandlung, d. h. er nimmt eine magnetische oder diamagnetische Inductionsfähigkeit nach bestimmten Richtungen, den magnetischen Axen, an; in Nr. 12—14 bespricht er seine Stellung zu der Tyndall'schen Erklärung durch verschiedene Dichtigkeit nach den verschiedenen Richtungen, welche er nicht für ausgeschlossen, aber für gewissen Bedenken unterworfen hält. Die Unterscheidung magnetisch positiver und negativer Krystalle wird bei der Wiedergabe der experimentellen Resultate von Abh. 17 nicht mehr angewendet.

1) S. 371. Im Original steht „meridiano magnetico *perpendicularem*“, was nicht richtig sein kann. Die Ausdrucksweise in diesem Satze ist überdies insofern unglücklich gewählt, als von der scheinbar paradoxen Abstossung der Nadel durch den Pol der Erde gesprochen wird, während sich der Versuch ebenso gut so einrichten lässt, dass sich die Nadel zum N-Pol hinbewegt; es wäre deutlicher, nur von der *Einstellung* der Nadel im *homogenen* Magnetfelde zu reden.

26. *Beiträge zur näheren Kenntniss des Wesens der sogenannten Coërcitivkraft.*

Plücker hat versucht, den schon an früheren Stellen (in Abh. 17, 23, 24) angedeuteten Zusammenhang zwischen der Coërcitivkraft und dem Verlauf der Magnetisirungsfunction messend zu verfolgen. Da er sich hierbei auf Stahl und Eisen beschränkt hat, so ist er allem Anschein nach in seiner früheren Ansicht bestärkt worden, dass nämlich denjenigen Substanzen, welche eine merkliche Coërcitivkraft besitzen, eine mehr geradlinig verlaufende (und daher für sehr

grosse magnetisirende Kräfte auch absolut grössere) Magnetisirungsfunction zukomme, als denjenigen ohne Coërcitivkraft. Diese aus dem Verhalten von Eisen und Stahl abgeleitete Regel ist aber allgemein sicher nicht richtig, und es ist nicht wahrscheinlich, dass überhaupt ein Zusammenhang zwischen den oben erwähnten Eigenschaften besteht.

1) S. 393. Im Folgenden sind wieder die corrigirten Zahlen mit * bezeichnet.

2) S. 397. Die hier gegebene Erklärung für das Tönen des aufgehängten Magneten erscheint wenig plausibel wegen der grossen Masse des schwingenden Systems; es muss sich doch wohl um elastische Schwingungen gehandelt haben. Anderweitige Beobachtungen dieser oder einer analogen Erscheinung scheinen nicht zu existiren.

3) S. 397. Von den Erscheinungen, welche hier auf die Coërcitivkraft zurückgeführt werden, sind die beiden ersten offenbar nur eine Folge des langsamen Anwachsens der Stärke des Elektromagneten in Folge der Selbstinduction seiner Umwicklung. Auch die dritte — das Fortschreiten der Eisenfeilspäne — erfordert zu ihrer Erklärung wohl die Coërcitivkraft nicht, da das abwechselnde Aufrichten und Niederfallen der Späne beim Vorübergang der Pole eine solche Fortbewegung verursachen kann.

27. *Action du magnétisme sur les axes des cristaux.*

In dieser Abhandlung verlässt Plücker zum ersten Male seine frühere Erklärungsweise der Einstellung der Krystalle im Magnetfelde mit Hülfe einer bezw. zweier magnetischer Axen, in deren Richtungen immer die inducirten Momente fallen sollten; an Stelle dieser Vorstellung setzt er die richtige dreier zu einander senkrechter Axen grösster, mittlerer und kleinster Induction, wie sie ein unkrystallinisches Ellipsoïd besitzt, und definirt jetzt als „magnetische Axen" diejenigen Richtungen, nach welchen aufgehängt der Krystall keine bestimmte Einstellung unter der Wirkung des homogenen Magnetfeldes annimmt. Weiter ausgeführt ist diese Theorie erst in der 28. Abhandlung.

1) S. 401. Diese Angabe steht in Widerspruch zu der früheren, Abh. 17, S. 219, sowie zu der späteren in Abh. 28, S. 411, wonach sich bei Aufhängung nach α die *kurze* Diagonale $\varkappa$ axial stellt. Um die vorliegende Darstellung mit der letzteren, wahrscheinlich richtigen Angabe in Uebereinstimmung zu bringen, muss überall $\varkappa$ mit λ vertauscht werden; die hieraus folgenden Aenderungen sind in [ ] zugefügt.

2) S. 401. Unter dem Inductionsellipsoïd scheint Plücker hier dasjenige Ellipsoïd aus weichem Eisen, oder (S. 405) aus der unkrystallinisch gedachten Substanz der Krystallmoleküle zu verstehen, welches sich in gleicher Weise wie der Krystall einstellen würde. Dies entspricht nicht der in Abh. 28, S. 434 gegebenen Definition des Inductionsellipsoïds, auch nicht derjenigen des dort vorwiegend benutzten „Hülfsellipsoïds". Die Behauptung S. 402, dass die magnetischen Axen, d. h. die Richtungen, um welche herum die Induction überall gleich ist, die Normalen der Kreisschnitte des Inductionsellipsoïds seien, stimmt jedoch zu der *späteren* Definition des letzteren, so dass Plücker hier doch schon an diese gedacht haben muss. Der Satz S. 403, wonach für diamagnetische einaxige Krystalle, deren Axe abgestossen wird, das Inductionsellipsoïd ein verlängertes sein soll, ist ebenfalls im Widerspruch zu der S. 401 gegebenen Erklärung des Inductionsellipsoïds; denn ein verlängertes Rotationsellipsoïd aus unkrystallischer Substanz stellt sich im

homogenen Felde (und ein solches muss selbstverständlich hier vorausgesetzt werden) *immer* mit der Rotationsaxe axial, einerlei, ob es paramagnetisch oder diamagnetisch ist.

28. *On the Magnetic Induction of Crystals.*

Diese letzte grössere, den Krystallmagnetismus betreffende Abhandlung enthält zunächst eine vollständige und im Wesentlichen (bis auf die in den folgenden Anmerkungen besprochenen Punkte) richtige Theorie des Krystallmagnetismus, welche zu denselben Resultaten führt, wie die ältere, Plücker erst nachträglich bekannt gewordene Theorie W. Thomsons (Phil. Mag. (4) Bd. 1, p. 177—186, 1851). Der Weg, den Plücker hierbei einschlägt, ist aber ein anderer; er knüpft nämlich an den schon von Poisson selbst (Mém. de l'Institut, V., 1821/22, p. 258) geäusserten Gedanken an, dass die Poisson'sche Molekulartheorie der magnetischen Induction für Krystalle dahin zu erweitern sei, dass die Moleküle als Ellipsoide vorausgesetzt werden; daher behandelt er auch im Abschnitt II. zunächst die Magnetisirung eines unkrystallinischen Ellipsoïds und prüft die Resultate dieser Rechnung an Beobachtungen.

Die Thomson'sche Theorie hat gegenüber dieser Plücker'schen den Vorzug, keine so specielle Vorstellung über die Moleküle zu benutzen, was auch Plücker selbst am Schluss der Nachschrift zu seiner Abhandlung anerkennt.

Ausser diesem theoretischen Theil enthält die Abhandlung eine werthvolle, nach den neuen Gesichtspunkten geordnete Zusammenstellung der sämmtlichen Beobachtungsresultate Plücker's über das magnetische Verhalten der Krystalle.

Die Figuren sind zum Theil neu gezeichnet (Fig. 31—45 wegen falscher Perspective der Originalfiguren), zum Theil nur verkleinert worden.

1) S. 421 u. S. 440. Die Ausdrücke „of the substance of the crystal" bezw. „of the some mass" müssen so verstanden werden, dass das den Krystall hinsichtlich seiner Einstellung ersetzende Ellipsoïd aus derselben Substanz bestehen soll, wie ein *Molekül* des Krystalls, aber nicht aus Substanz von der beobachtbaren Dichtigkeit des ganzen Krystalles.

2) S. 422, Anmerkung. Die Bedeutung von a^0, b^0, c^0 ist die, dass die Grössen $\frac{A}{a^{0^2}}$, $\frac{B}{b^{0^2}}$, $\frac{C}{c^{0^2}}$ die Anziehungskräfte darstellen, welche ein Massenpunkt 1 durch das mit Masse von der Dichtigkeit 1 erfüllte gegebene Ellipsoïd erfährt, wenn er sich in den Endpunkten von dessen drei Hauptaxen befindet (die Gravitationsconstante = 1 vorausgesetzt). Für $\frac{1}{a^{0^2}}$ findet sich sonst meist (z. B. in Neumann's Vorlesungen über Magnetismus, § 25, und in Beer's Einleitung in Elektrostatik, Magnetismus und Elektrodynamik, Braunschweig 1865, S. 68) der in der Form abweichende Ausdruck

$$\frac{2}{A^2}\int_0^{\pi} dv \int_0^{\frac{\pi}{2}} d\vartheta \frac{\sin\vartheta\cos^2\vartheta}{\frac{\sin^2\vartheta}{\varrho^2}+\frac{\cos^2\vartheta}{A^2}}.$$

3) S. 423, Anmerkung. Die Behauptung, dass sich die Theorie der magnetischen Induction von derjenigen der elektrischen Influenz „nur durch eine Constante (Poisson's k) unterscheidet", ist nur für den Fall eines homogenen magnetischen bezw. elektrischen Feldes zutreffend. Ferner sind aber die angegebenen

Relationen zwischen den Grössen $\frac{1}{a}$, $\frac{1}{b}$, $\frac{1}{c}$ und $\frac{1}{a^0}$, $\frac{1}{b^0}$, $\frac{1}{c^0}$ nicht richtig; sie müssen lauten (vgl. Beer, Elektrostatik, Magnetismus u. Elektrodynamik, S. 188)

$$\frac{1}{a^2} = \frac{1}{a^{0^2}} + \frac{4\pi}{3}\frac{1-k}{k} = \frac{1}{a^{0^2}} + \frac{1}{\varkappa}$$

$$\frac{1}{b^2} = \frac{1}{b^{0^2}} + \frac{4\pi}{3}\frac{1-k}{k} = \frac{1}{b^{0^2}} + \frac{1}{\varkappa}$$

$$\frac{1}{c^2} = \frac{1}{c^{0^2}} + \frac{4\pi}{3}\frac{1-k}{k} = \frac{1}{c^{0^2}} + \frac{1}{\varkappa};$$

darin ist k die Poisson'sche Constante, $\varkappa$ die gewöhnliche Constante der magnetischen Induction, welche, mit den magnetischen Kräften multiplicirt, die Momente liefert (vgl. Beer, l. c. S. 169 u. Neumann, Vorl. üb. Magnetismus S. 49).

4) S. 423. Dieser Satz über den Uebergang von paramagnetischer zu diamagnetischer Substanz kann leicht missverstanden werden, da der Ausdruck „nothing is changed but the sign of the two forces" vermuthen lassen kann, dass das Hülfsellipsoïd dabei unverändert bleibe. Es entspricht aber jenem Uebergang die Vertauschung von $\varkappa$ mit $-\varkappa$, und hierdurch werden die in der vorigen Anm. angeführten Ausdrücke für $\frac{1}{a^2}$, $\frac{1}{b^2}$, $\frac{1}{c^2}$ sämmtlich *negativ*, da bei diamagnetischen Substanzen nur sehr kleine absolute Werthe von $\varkappa$ vorkommen. Als Halbaxen des Hülfsellipsoïds sind daher $\sqrt{-\frac{1}{a^2}}$, $\sqrt{-\frac{1}{b^2}}$, $\sqrt{-\frac{1}{c^2}}$ zu nehmen, und diese folgen der Grösse nach entgegengesetzt auf einander, wie $\frac{1}{a^0}$, $\frac{1}{b^0}$, $\frac{1}{c^0}$ oder die Werthe von $\frac{1}{a}$, $\frac{1}{b}$, $\frac{1}{c}$ bei positivem $\varkappa$; wenn nämlich

$$A > B > C,$$

so ist

$$\frac{1}{a^{0^2}} < \frac{1}{b^{0^2}} < \frac{1}{c^{0^2}},$$

aber

$$\frac{1}{-a^2} > \frac{1}{-b^2} > \frac{1}{-c^2}.$$

Zugleich kehrt sich aber die durch die Richtungscosinus $\frac{\alpha}{a^2}$, $\frac{\beta}{b^2}$, $\frac{\gamma}{c^2}$ (wo α, β, γ diejenigen der magnetischen Kraft sind) bestimmte Richtung um, in welcher das mit N-Magnetismus gefüllt gedachte gegebene Ellipsoïd zu verschieben ist (cf. S. 422), und daher behält das resultirende Drehungsmoment seine Tendenz, die *grösste* Axe des gegebenen Ellipsoïds in die Kraftrichtung zu stellen; diese fällt aber im Falle diamagnetischer Substanz mit der grössten, im Falle paramagnetischer mit der kleinsten Axe des Hülfsellipsoïds zusammen.

5) S. 423. Im Original stehen hier die Ausdrücke

$$\frac{2\varphi \sin \xi}{pr}, \quad \frac{2\varphi \operatorname{tg} \xi}{r^2}. \tag{1}$$

Der Factor 2 ist nicht berechtigt; und wenn φ, wie zwar nicht ausdrücklich gesagt, aber doch wahrscheinlich gemeint ist, die auf das mit der magnetischen Dichte *Eins* erfüllte Ellipsoïd wirkende Kraft — also das Product aus Feldstärke und Volumen des Ellipsoïds — bezeichnet, so muss φ^2 an Stelle von φ gesetzt

werden. Diese beiden, übrigens unwesentlichen Aenderungen sind demgemäss auch in allen späteren aus (1) abgeleiteten Formeln vorgenommen worden.

6) S. 424. Es ist hier eine Unklarheit dadurch entstanden, dass Plücker in demselben Satze von den Axen des wirklichen Ellipsoïds und des Hülfsellipsoïds spricht, ohne dieselben ausdrücklich zu unterscheiden. Die Bedingung für das Gleichgewicht ist, dass eine Hauptaxe des zur Rotationsaxe senkrechten Schnittes des *Hülfsellipsoïds* in die Kraftrichtung fällt, und zwar ist im Falle einer paramagnetischen Substanz das Gleichgewicht stabil, wenn obiges von der kleineren Axe, labil, wenn es von der grösseren Axe jener Ellipse gilt, umgekehrt im Falle diamagnetischer Substanz. Der letzte Satz müsste daher, wenn Plücker consequent von dem *Hülfsellipsoïd* sprechen will, lauten: if the *shorter* axis does, $\frac{1}{r^2}$ is a maximum, the equilibrium an unstable one; if the *longer* axis, $\frac{1}{r^2}$ becomes a minimum, the equilibrium a stable one. Dies ist auch deshalb die einzig correcte Ausdrucksweise, weil die Hauptaxen der Schnittellipse des gegebenen Ellipsoïds im Allgemeinen keineswegs mit denjenigen des von derselben Ebene erzeugten Schnittes des Hülfsellipsoïds zusammenfallen, also auch gar nicht für die Einstellung maassgebend sind.

7) S. 424. Es ist hier wieder zu beachten, dass die Vertauschung des stabilen und labilen Gleichgewichts bei Ersetzung der paramagnetischen Substanz durch eine diamagnetische nur für das *Hülfsellipsoïd*, nicht für das gegebene Ellipsoïd gilt (siehe Anm. 4).

8) S. 433. Der Ausdruck (25) bleibt allerdings ungeändert, aber nicht, weil ausser der Vertauschung von a' mit b' φ sein Vorzeichen ändert, sondern weil dies von $\sin\vartheta\cos\vartheta$ gilt, da $-(90-\vartheta)$ an Stelle des früheren ϑ tritt.

9) S. 456. Die Halbaxen des von Plücker meistens benutzten (2ten) magnetischen Hülfsellipsoïds sind nicht die reciproken Werthe der in ihren Richtungen inducirten Momente, sondern die Quadratwurzeln aus denselben; ebenso sind die Halbaxen des optischen Hülfsellipsoïdes, von welchem Plücker spricht, und mit dem das „Indexellipsoïd“ gemeint sein muss, nicht die reciproken Werthe der optischen Elasticitäten, sondern ihrer Quadratwurzeln oder der Lichtgeschwindigkeiten. — Das 2. magnetische Hülfsellipsoïd ist identisch mit dem Inductionsellipsoïd Thomson's; dagegen nennt Plücker Inductionsellipsoïd dasjenige Ellipsoïd, dessen Halbaxen die Inductionsconstanten (oder Hauptmagnetisirungsconstanten) selbst sind (cf. S. 434).

10) S. 458. Diese Ableitung geschieht am einfachsten durch die Ueberlegung, dass zufolge der Einführung von η und η' *immer* gilt

$$\operatorname{tang}\eta\operatorname{tang}\eta' = \frac{b^2-c^2}{a^2-b^2},$$

dass aber ω sich in den 3 betrachteten Fällen verschieden durch a^2, b^2, c^2 ausdrückt, indem nämlich ist

$$\begin{array}{lccc} \text{im} & 1. & 2. & 3.\ \text{Falle} \\ \operatorname{tang}^2\omega = & \dfrac{b^2-c^2}{a^2-b^2} & \dfrac{c^2-b^2}{a^2-c^2} & \dfrac{a^2-b^2}{c^2-a^2}. \end{array}$$

29. *Ueber das magnetische Verhalten der verschiedenen Glimmer und seine Beziehung zum optischen Verhalten derselben.*

1) S. 462 u. 471. Die Senarmont'sche Ansicht, dass die Glimmer isomorphe Mischungen seien, ist durch die neueren Forschungen, insbesondere von Tschermak, im Wesentlichen bestätigt worden; dagegen ist das Krystallsystem als *monoklin* erkannt. Die wichtigsten in den Glimmern mit einander gemischten Verbindungen sind nach Tschermak $HAlSiO_4$, $KAlSiO_4$, Mg_2SiO_4, von denen die beiden ersteren den Muscovit (mit opt. Axenebene senkrecht zu 010), die beiden letzteren den Meroxen oder Biotit (mit Axenebene parallel zu 010) zusammensetzen.

30. *Ueber die Einwirkung des Magneten auf die elektrischen Entladungen in verdünnten Gasen.*

Es war zwar schon vor Plücker bekannt, dass elektrische Entladungen durch Gase (nämlich der elektrische Lichtbogen) überhaupt eine Einwirkung durch einen genäherten Magneten erfahren, aber erst durch die in der vorliegenden Abhandlung zuerst beschriebenen Versuche Plücker's mit *Geissler'schen Röhren* — welche hier zum ersten Mal zu einer physikalischen Untersuchung angewendet wurden — ist der merkwürdige Unterschied im Verhalten der positiven und negativen Entladung gegen den Magnetismus aufgedeckt worden, Erscheinungen, deren nähere Untersuchung den Gegenstand einer Reihe weiterer Arbeiten Plücker's gebildet hat.

1) S. 478. Die Erklärung der Schichtung des Lichtes durch periodische Verdichtungen des Gases hat sich später als unhaltbar erwiesen, u. a. deshalb, weil die Schichtung nach späteren Beobachtungen, im Gegensatz zu der Bemerkung Plücker's, gleich bei der ersten Entladung vollständig auftritt und also nicht Folge eines erst durch die Entladungen geschaffenen Zustandes sein kann. Eine völlig befriedigende Erklärung steht noch aus.

2) S. 483. Der Pfeil in Fig. 6 ist entgegen den Ampère'schen Strömen des Magneten gerichtet und würde daher nach Plücker die beim *Aufheben* des Magnetismus eintretende Rotation angeben.

3) S. 487. Das fragliche grüne Licht ist das durch das negative Glimmlicht erregte *Fluorescenzlicht* des Glases, wie Plücker selbst später erkannt hat (Abh. 35, S. 557).

32. *Fortgesetzte Beobachtungen über die elektrische Entladung durch gasverdünnte Räume.*

1) S. 496 u. 499. An Stelle dieser Erklärung für das Zusammenfallen der Glimmlichtstrahlen mit den magnetischen Kraftlinien hat Pl. selbst wenig später die einfachere und seitdem beibehaltene gesetzt, dass die Strahlen des Glimmlichts als elektrische Stromfäden (nämlich Convectionsströme) zu betrachten sind. (Vgl. seine Anmerkung zu Nr. 79, Abh. 33, S. 510.)

2) S. 503. Das hier untersuchte Wasserstoffgas war offenbar stark verunreinigt (vgl. Plücker's Anmerkung am Ende der 34. Abh. S. 530). Das reine Wasserstoffspectrum hat Plücker zuerst in Abh. 34, Nr. 102, S. 523, beschrieben.

35. *Fortgesetzte Beobachtungen über die elektrische Entladung in gasverdünnten Räumen.*

1) S. 553. Bei der Erklärung der Spiralen des positiven Lichtes betrachtet Plücker das letztere offenbar als Convectionsströmungen; unter „stromerregender Kraft" ist dann die elektrische Kraft, welche das elektrisch geladene Theilchen nach der negativen Elektrode hin treibt, zu verstehen. Von den Spiralen der Kathodenstrahlen, welche Hittorf zuerst beobachtet hat, sind die hier beschriebenen wesentlich verschieden; unter der Voraussetzung fortgeschleuderter elektrisch geladener Massentheilchen würde man den Unterschied darin zu suchen haben, dass bei dem positiven Licht nur die elektrische Kraft, bei den Kathodenstrahlen nur die Trägheit der Massentheilchen merklich neben der elektromagnetischen Kraft wirksam ist. (Die Spiralenbildung der Kathodenstrahlen hat Plücker nicht beobachtet, weil er die Verdünnung noch nicht weit genug getrieben hatte.)

36. *Ueber die Constitution der elektrischen Spectra der verschiedenen Gase und Dämpfe.*

1) Die Unterscheidung, welche Plücker in Nr. 185 zwischen einem continuirlichen Spectrum mit schmalen Unterbrechungen und einem durch sehr viele dunkle Linien discontinuirlichen Spectrum bei der Besprechung der Fraunhofer'schen Linien macht, ist unklar. — Die Kirchhoff'sche Erklärung der Fraunhofer'schen Linien wurde zwar in demselben Jahr (1859) veröffentlicht, aber erst im October, und war somit Plücker noch unbekannt.

2) In Abschnitt 196 ist wohl zuerst der Nachweis des Zusammenfallens der Wasserstofflinien H_α, H_β und H_γ mit den Fraunhofer'schen Linien C, F und G geliefert, nachdem die Coïncidenz der Linien H_α und C schon 1853 von Ångström behauptet, aber nicht durch genaue Messung begründet worden war. Die kleinen Differenzen, welche Plücker zunächst in den Lagen der Linien H_α, H_γ einerseits und C, G andererseits fand, verschwanden bei einer späteren genaueren Messung für H_α und C, während sich hinsichtlich der Linie H_γ ergab, dass sie zwar nicht mit G, aber mit einer dieser sehr benachbarten Fraunhofer'schen Linie genau zusammenfällt. (Siehe Anmerkung zu Abh. 41, S. 691—692.)

37. *Abstract of a series of papers and notes concerning the electric discharge through rarified gases and vapours.*

Enthält eine übersichtliche Zusammenstellung der in den vorhergehenden Arbeiten gewonnenen Resultate über die Einwirkung des Magneten auf die Entladungen durch Geissler'sche Röhren und über deren Spectra.

38. *Ueber die Einwirkung des Magneten auf die elektrische Entladung.*

In dieser Abhandlung ist hauptsächlich neu die Untersuchung der Einwirkung des magnetischen Feldes auf die Aureole, welche kräftige Inductionsfunken in Luft von gewöhnlicher Dichte umgiebt, sowie die dadurch veranlassten Versuche über die Aenderung der Erscheinung bei stetig vermindertem Drucke.

39. *Ueber recurrente Ströme und ihre Anwendung zur Darstellung von Gasspectra.*

Als recurrente Ströme bezeichnet Plücker die in Geissler'schen Röhren unter Einwirkung eines wechselnden elektrischen Feldes, wie es etwa durch eine mit einem Pole eines Inductionsapparates verbundene Stanniolbelegung erzeugt wird, auftretenden Inductionsströme.

1) S. 639. Die Rückkehr in's elektrische Gleichgewicht erfolgt in Wahrheit erst nach einer mehr oder weniger grossen Anzahl von *Schwingungen.*

2) S. 648. Es scheint, dass Plücker hier eine Versuchsanordnung angewandt hat, welche zur Entdeckung des Hall-Phänomens hätte führen können. Die Ablenkbarkeit des galvanischen Stromes in metallischen Leitern durch den Magneten, welche Plücker noch fraglich erschien, ist im Hall-Effect thatsächlich vorhanden, wenn sie auch nicht, wie die Ablenkung der Gasentladungen, als eine directe Folge des Biot-Savart'schen Gesetzes gedeutet werden kann.

3) S. 649. Ein „theilweises Umkehren" des Stromes beim Uebergang von einem dickeren Draht in einen dünneren findet weder bei constantem noch bei wechselndem Strom statt, und die von Plücker als möglich hingestellte Abweichung vom Ohm'schen Gesetz, die daraus folgen würde, ist sicher nicht vorhanden. Bei der Erscheinung in Geissler'schen Röhren, die Plücker auf obige Vermuthung führte, handelte es sich wahrscheinlich um einen Einfluss der Glaswand.

4) S. 650. Ein Widerspruch mit den elektromagnetischen Gesetzen ist insofern nicht vorhanden, als ein an einem Ende befestigter biegsamer Stromfaden, welcher das Analogon zu den Strahlen des negativen Glimmlichts bildet, in der That nur dann im Gleichgewichte ist, wenn er mit der durch seinen Anfangspunkt gehenden magnetischen Kraftlinie zusammenfällt; die Schwierigkeit, welche Plücker wohl meint, liegt nur darin, wie man sich das *Zustandekommen* jener Coincidenz zu denken hat. Vgl. darüber Plücker's eigene Anmerkung S. 511.

40. *Analyse spectrale.*

Diese Abhandlung enthält die ersten Mittheilungen von den wichtigen Beobachtungen Plücker's und Hittorf's über den in Abh. 41 näher untersuchten Einfluss der Temperatur- und Drucksteigerung auf die Spectra: den Uebergang des Linienspectrums des Wasserstoffs in ein continuirliches, und des Bandenspectrums des Stickstoffs in ein Linienspectrum.

1) S. 658. Dass die Breite der Banden, welche den mittleren Streifen doppelter Helligkeit beiderseits begrenzen, gleich der halben Spaltbreite sein soll, ist nicht richtig; ihre Breite hängt nicht allein von jener des Spaltes, sondern auch vom Abstand der Mitten beider Banden ab.

41. *On the spectra of ignited gases and vapours, with especial regard to the different spectra of the same elementary gaseous substance.*

Der in der vorhergehenden Abhandlung angekündigte Nachweis, dass eine und dieselbe Substanz je nach der Temperatur, bei der sie leuchtet, zwei verschiedene Spectra geben kann (cf. Nr. 14), wird in dieser mit Hittorf gemeinsam ausgeführten Arbeit für die Elemente N, S, Se, H eingehender erbracht, wodurch die letztere für die Spectralanalyse von grosser Wichtigkeit geworden ist. Auch

die einzelnen Spectralbeobachtungen an verschiedenen Gasen, welche in dieser Abhandlung zusammengestellt sind, haben durch andere Beobachtungen grösstentheils Bestätigung gefunden. Die Deutung einiger von Plücker und Hittorf zuerst beobachteter Spectra ist noch mehr oder weniger streitig; so z. B. des S. 693 oben erwähnten zweiten Wasserstoffspectrums, welches möglicher Weise einem Kohlenwasserstoff, und des Bandenspectrums von N, welches nach Angström einer Verbindung von N und O angehört, ferner besonders diejenige der Spectra der verschiedenen Kohlenstoffverbindungen, welche Plücker für verschiedene Typen des Kohlenstoffspectrums zu halten geneigt ist, von denen aber jene des CN und CO wahrscheinlich wenigstens zum Theil von diesen unzersetzten Verbindungen herrühren. (Vgl. hierüber z. B. Kayser's Spectralanalyse.)

42. *Ueber das Ohm'sche physikalische Gesetz.*

1) S. 709. Im Original steht an Stelle dieser Proportion die folgende:

$$4RG:(R+G)^2=1:1-\tfrac{1}{4}(R-G)^2;$$

es ist darin im Vergleich mit dem Text die Reihenfolge der Glieder vertauscht, und ausserdem das letzte Glied falsch berechnet.

2) S. 709. Dieser Satz gilt nicht nur für die Maximumwirkung, sondern allgemein, und ist von Plücker selbst bereits S. 704 unten als Erfahrungsthatsache benutzt und in der Anmerkung daselbst näher begründet worden.

44. *Ueber den neueren Boutigny'schen Versuch.*

1) S. 715. Die von Plücker für die Annalen in Aussicht gestellte weitere Mittheilung ist nicht erschienen; ebensowenig die Abhandlung von Boutigny, auf welche in der Anmerkung hingewiesen ist. — Boutigny erkannte wohl den Zusammenhang der hier besprochenen Erscheinungen mit dem sog. Leidenfrost'schen Phänomen, glaubte aber zur Erklärung einen besonderen „*sphaeroidalen*" Zustand der Flüssigkeiten annehmen zu müssen (Compt. rend. XXIX, p. 473, 1849). Dass es sich bei den fraglichen Erscheinungen nur um die Wirkung einer das glühende Metall von der Flüssigkeit trennenden, die Wärme schlecht leitenden Dampfschicht handelt, wurde erst nach den Versuchen von Tyndall (Phil. Mag. (4), X, p. 350, 1855) allgemein anerkannt.

46. *Studien über Thermometrie und verwandte Gegenstände.*

1) S. 724. Um die Correction zu erhalten, um welche jede bei verticaler Stellung abgelesene Zahl von Theilstrichen wegen der Druckänderung zu vermehren ist, muss die Differenz $k-h$ nicht durch k — die beim Umlegen des Rohres eintretende *Verschiebung* —, sondern durch die Anzahl der Theilstriche, etwa m, um welche das Quecksilber bei der zweiten Beobachtung über dem Nullpunkt stand, dividirt werden. Die Correction für einen abgelesenen Stand M ist also $M\frac{k-h}{m}$. — Gemäss der Bemerkung am Schlusse von Nr. 9 kommt jedoch diese Correction bei der Berechnung der Beobachtungen nicht in Betracht.

47. *Ueber die Reciprocität der elektromagnetischen und magnetoelektrischen Erscheinungen.*

Ueber die Erklärung der in dieser Abhandlung beschriebenen Versuche aus dem Gesetz der Magnetinduction vgl. Riecke, Wied. Ann. Bd. 1, S. 110, 1877, ferner über ihre Deutung vom Standpunkt der Maxwell'schen Theorie Lecher, Wied. Ann. Bd. 53, S. 276—304, 1895.

1) S. 755. Das Auftreten einer elektrostatischen Ladung an der Oberfläche eines rotirenden Magneten ist zwar wahrscheinlich, aber keineswegs selbstverständlich, wie in den citirten Arbeiten von Riecke (l. c. S. 125, 126) und Lecher (l. c. S. 282, 291) hervorgehoben ist. Der Hinweis Plücker's auf den Arago'schen Rotationsmagnetismus trifft die Sache nicht.

2) S. 755. Der Schluss in Nr. 8 wäre nur richtig, sofern der vorausgesetzte Schliessungsdraht nicht an der Rotation des Magneten Theil nähme.

3) S. 757. Auch wenn die elektrostatische Ladung eines rotirenden Magneten zugegeben wird (vgl. Anm. 1), ist sie weder qualitativ noch quantitativ ausreichend, um die atmosphärische Elektricität zu erklären. (Vgl. Lecher, l. c. S. 302.)

4) S. 762. Bei dem in Nr. 25 beschriebenen Versuche tritt die Rotation nur ein durch die Gegenwirkung des *ruhenden* Stromtheils; wäre der ganze Leiterkreis einschliesslich der galvanischen Kette mit dem Magnet starr verbunden, so könnte keine Rotation eintreten, ebensowenig, wie in diesem Falle durch die mechanisch erzeugte Rotation ein Strom inducirt würde (vgl. 21).

5) S. 767. In Nr. 37—40 ist die Ausdrucksweise Plücker's unklar. Es scheint namentlich aus Nr. 37 und 40 hervorzugehen, dass er der irrigen Ansicht war, nicht nur die inducirte Stromstärke, sondern auch die inducirte elektromotorische Kraft (die „Erregung") hinge von der Leitfähigkeit ab, was aber durch den in 39 beschriebenen Versuch sich keineswegs begründen lässt.

6) S. 771. Auch hier, wie in Nr. 4, kann der Rotationsmagnetismus nicht zum Vergleich herangezogen werden, weil der Querschnitt eines rotirenden Magneten einer rotirenden Scheibe entspricht, die mit den Magnetpolen fest *verbunden* ist, während diese beim Arago'schen Versuche *ruhen*.

7) S. 773. Wenn der Ausdruck B, wie es nach dem Folgenden scheint, ein Maass nicht für die Stromstärke, sondern für die elektromotorische Kraft oder die im offenen Leiterstück ds geschiedenen Elektricitätsmengen darstellen soll, so muss $\varkappa$ von der Leitfähigkeit unabhängig sein (vgl. Anm. 5).

49. *Untersuchungen über Dämpfe und Dampfgemenge.*

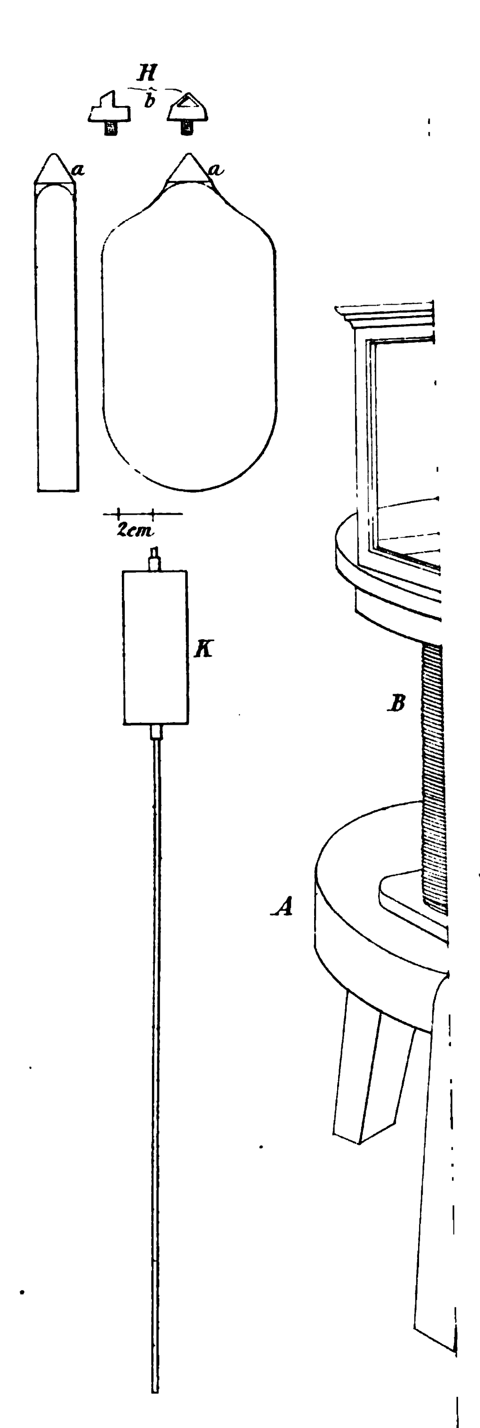
1) S. 789. Diese Beobachtungen Plücker's sind nur verständlich, wenn man annimmt, dass die ursprünglichen Mischungen durch den Zusatz der dritten Substanz in je zwei verschiedene Lösungen zerfallen sind, deren eine *mehr* von dem flüchtigeren Bestandtheil (im 1. Falle Aether, im 2. Alkohol) enthielt, als die ursprüngliche Mischung. Ein solches Verhalten kann in der That in Folge der geringen Löslichkeit des Wassers in Aether und des Kochsalzes in Alkohol eintreten.

2) S. 805. Bei der Reduction des Quecksilberdruckes auf 0° muss nicht der scheinbare, sondern der absolute Ausdehnungscoëfficient des Quecksilbers benutzt werden, also 0,0001815 statt 0,000153, wodurch sich die Correction gleich $4{,}1^{\mathrm{mm}}$ und die Höhe der reducirten Quecksilbersäule gleich $930{,}5^{\mathrm{mm}}$ ergiebt. — Der-

selbe Fehler kehrt in Nr. 32 wieder. Die berichtigten Zahlen sind in Klammern [ ] hinzugefügt.

50. *Diahelische Curven und Parahelien im Doppelspath.*

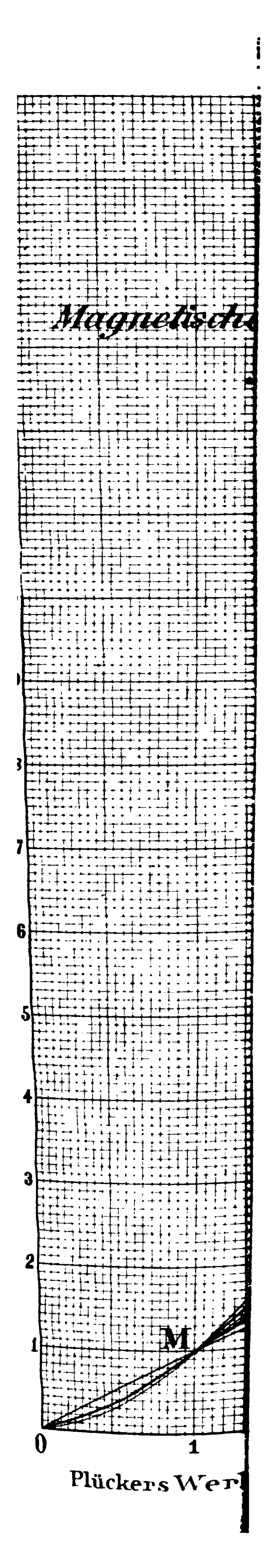
1) S. 808. Die hier abgedruckte Mittheilung ist ein Referat über einen von Plücker in der niederrhein. Ges. für Natur- und Heilkunde gehaltenen Vortrag, welches a. a. O. mit den Worten eingeleitet wird: „Darauf theilte Prof. Plücker Einzelnes aus einer eben vollendeten grösseren Abhandlung über diahelische Curven und Parahelien im Doppelspath mit.“ Jene grössere Abhandlung, welche eine vollständige mathematische Behandlung der fraglichen Lichtringe enthalten sollte, ist jedoch nicht veröffentlicht worden. Eine genaue Untersuchung dieser Erscheinungen, die zuerst von Brewster (Brit. Assoc. Report XIV, 1844; Phil. Magazine XXXIII, p. 489, 1848) beobachtet worden sind, hat später C. Schmidt (Wied. Annalen, Bd. 33, S. 534, 1888) ausgeführt. Derselbe erklärt das Auftreten von Farben auf dem Theile des Lichtbogens, der dem Bilde der Lichtquelle gegenüberliegt, in allen Einzelheiten durch die Dispersion des Kalkspaths. Den Durchmesser der Canäle, welche die Ringe verursachen, schätzt er auf 0,0006^{mm}.

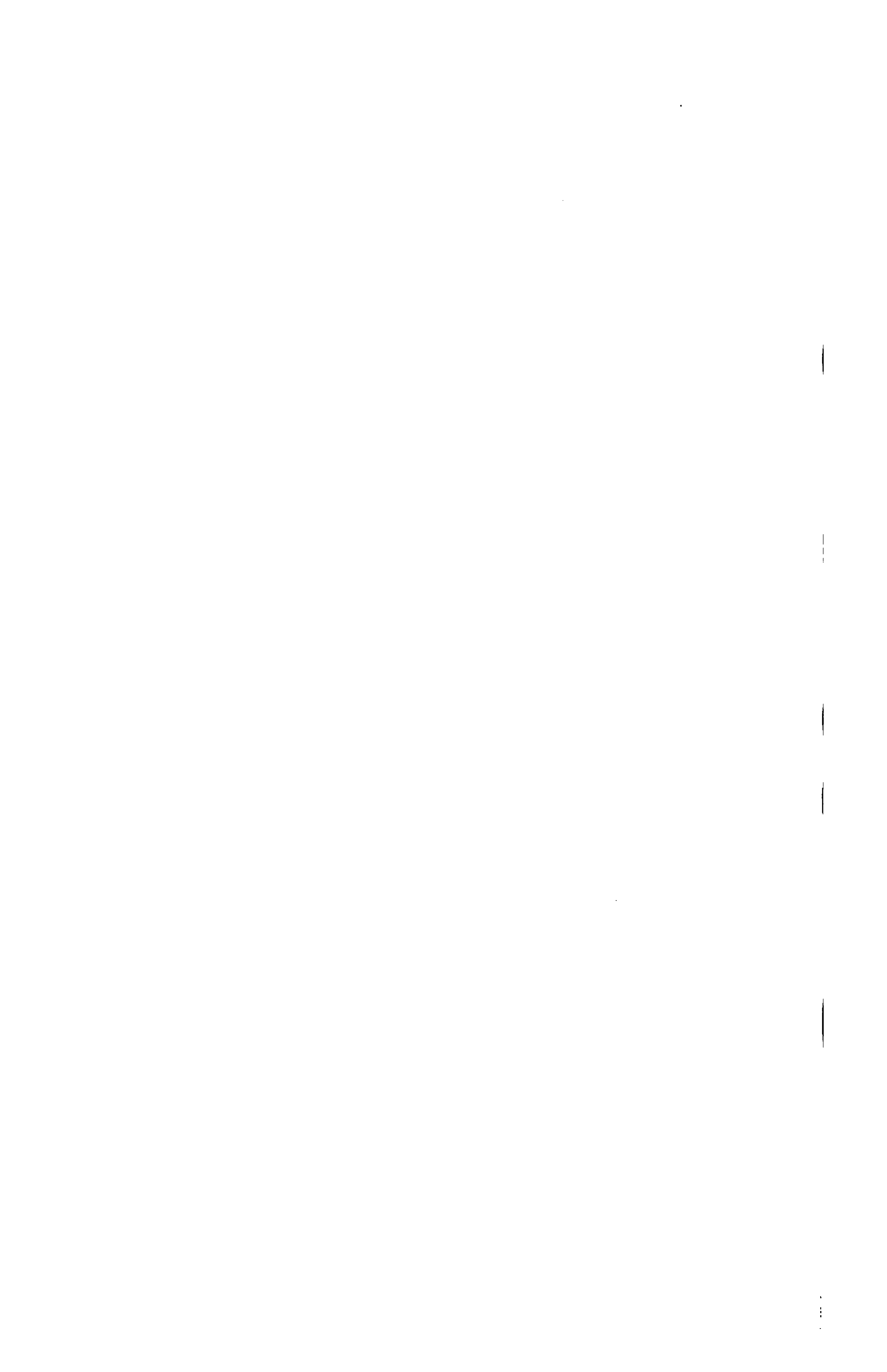


Plücker's Werke II.

sell
[ ]

Pl
we
Ei
Cu
ein
sol
Er
Ma
(W
vo
üb
me

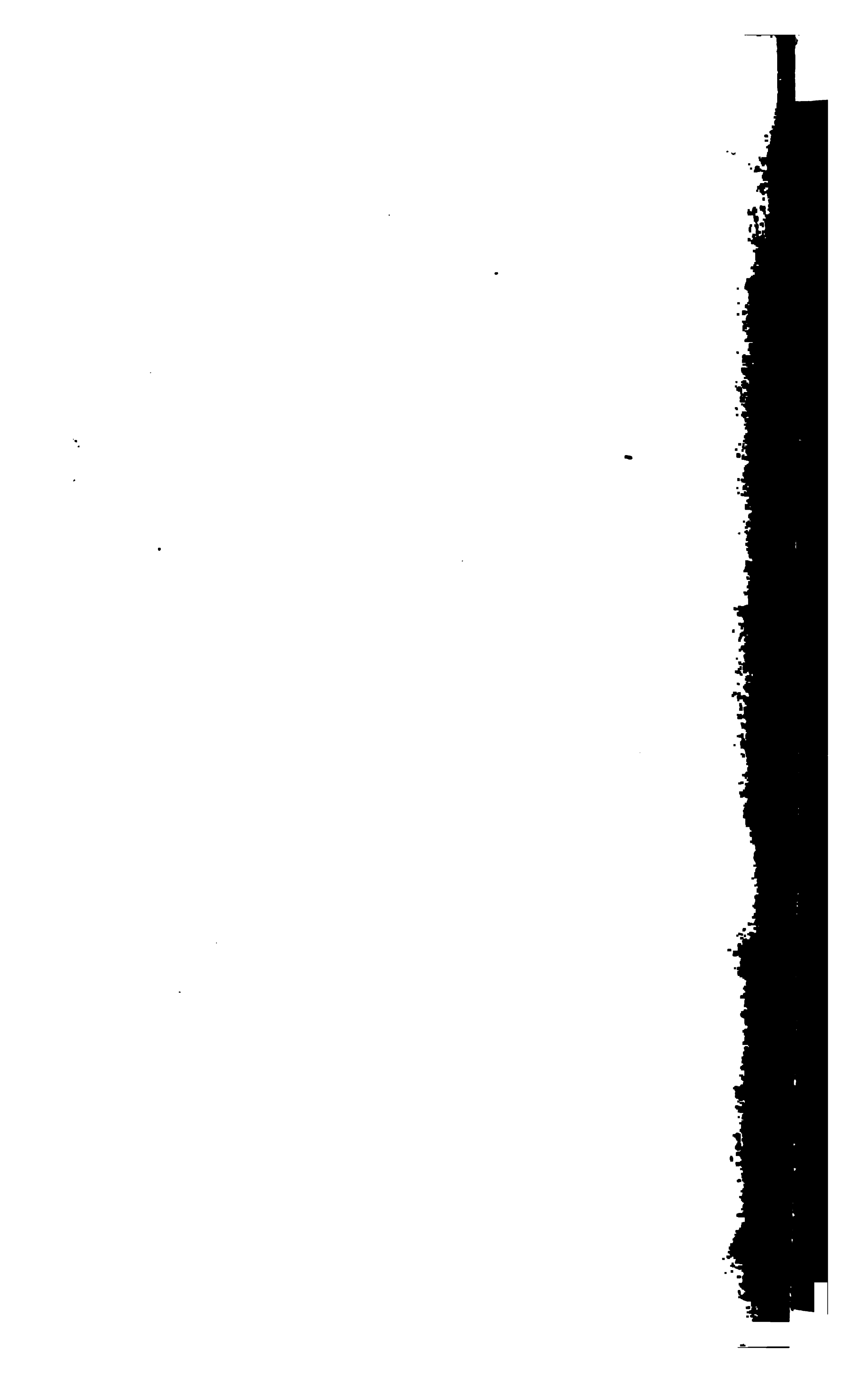

Magnetisch
7
6
5
4
3
2
1
M
0
1
Plückers Wer







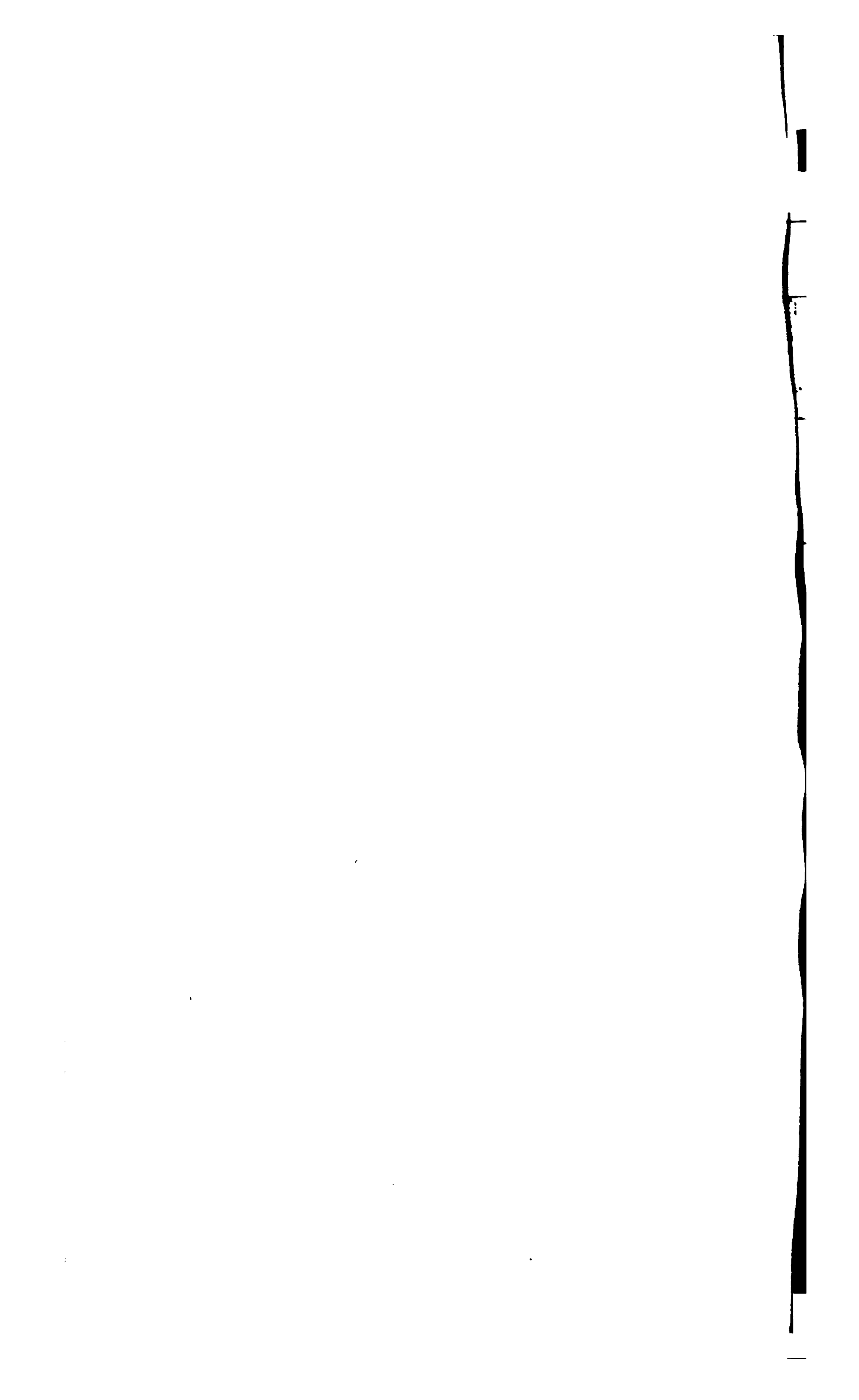




Spectra primi ordinis
trogenii Sulphuris Carbonis.

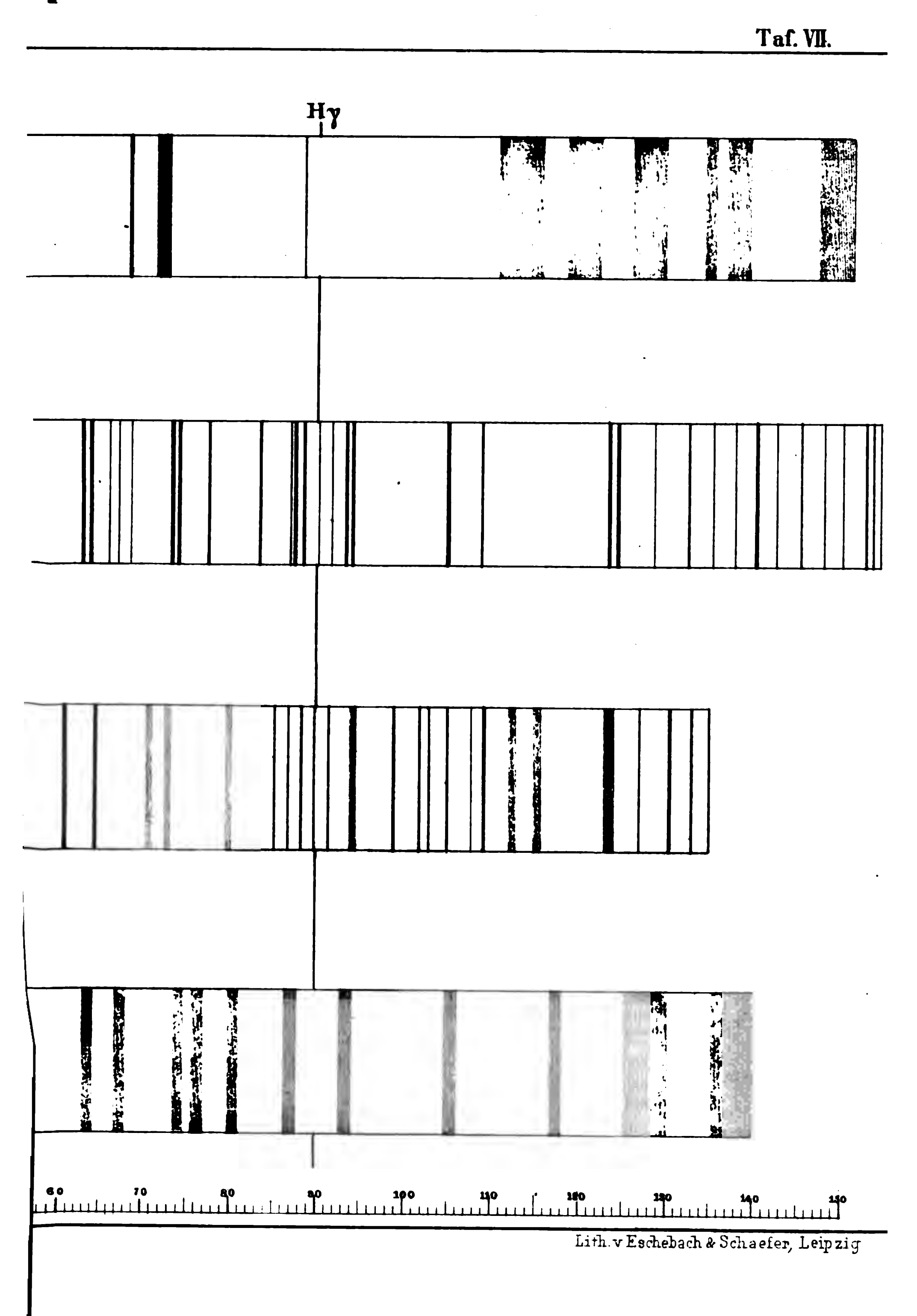
g h

Eschebach & Schaefer Leipzig

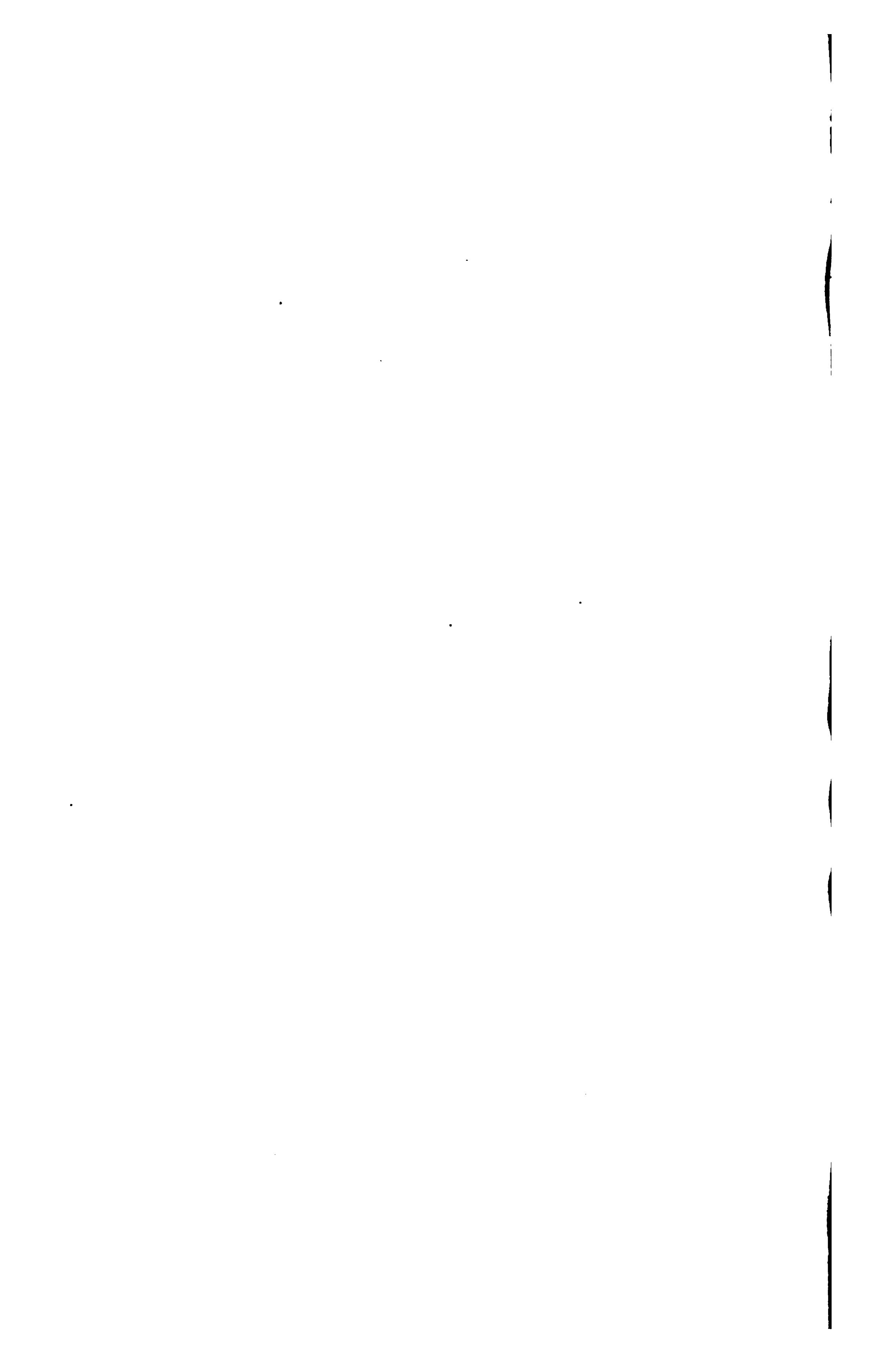


Iphuris Selenii.

Taf. VII.



Lith. v Eschebach & Schaefer, Leipzig



Phosphori.

Taf. VIII.

Hγ

50 60 70 80 90 100 110 120 130 140

Lith v Eschebach & Schaefer, Leipzig.

